

(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
04. Februar 2021 (04.02.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/018329 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B22F 3/105 (2006.01) B33Y 30/00 (2015.01)
B29C 64/153 (2017.01) B33Y 40/20 (2020.01)
B33Y 10/00 (2015.01) B33Y 50/02 (2015.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2020/000165

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. Juli 2020 (22.07.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 211 549.7
01. August 2019 (01.08.2019) DE

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

(72) Erfinder: **ROTT, Sebastian**; c/o MTU Aero Engines AG, Dachauer Straße 665, 80995 München (DE). **FRIEDBERGER, Katrin**; c/o MTU Aero Engines AG, Dachauer Straße 665, 80995 München (DE). **DUSEL, Karl-Heinz**; c/o MTU Aero Engines AG, Dachauer Straße 665, 80995 München (DE). **LADEWIG, Alexander**; c/o MTU Aero Engines AG, Dachauer Straße 665, 80995 München (DE). **LIEBL, Christian**; c/o MTU Aero Engines AG, Dachauer Straße 665, 80995 München (DE). **SCHLOTHAUER, Steffen**; c/o MTU Aero Engines AG, Dachauer Straße 665, 80995 München (DE). **CASPER, Johannes**; c/o MTU Aero Engines AG, Dachauer Straße 665, 80995 München (DE).

(54) Title: METHOD AND LAYER-BUILDING DEVICE FOR THE ADDITIVE MANUFACTURE OF AT LEAST ONE COMPONENT SEGMENT OF A COMPONENT AS WELL AS COMPUTER-PROGRAM PRODUCT AND STORAGE MEDIUM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND SCHICHTBAUVORRICHTUNG ZUR ADDITIVEN HERSTELLUNG ZUMINDEST EINES BAUTEILSEGMENTS EINES BAUTEILS SOWIE COMPUTERPROGRAMMPRODUKT UND SPEICHERMEDIUM

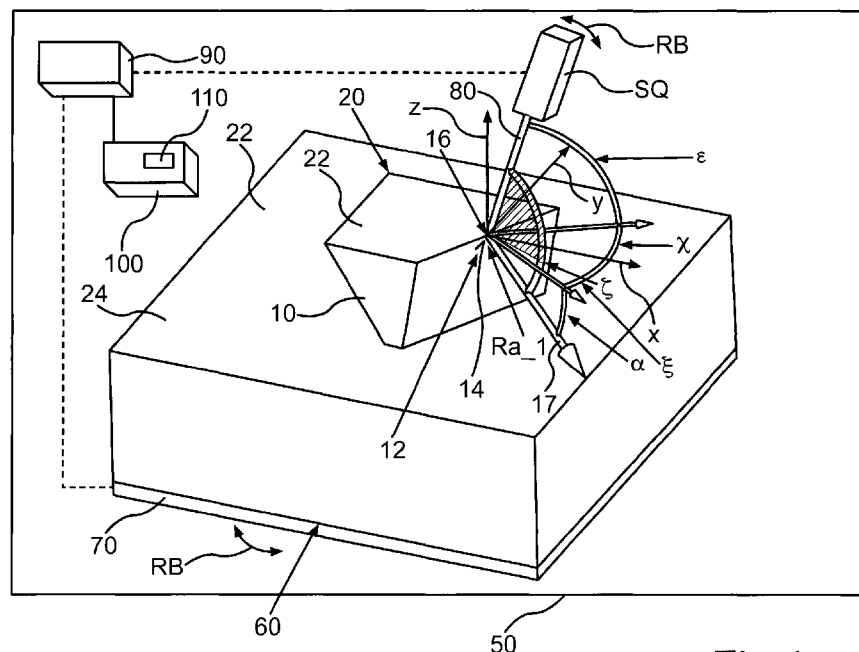


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for the additive manufacture of at least one component segment (12) of at least one component (10), in particular for a flow machine, comprising at least the following steps: a) applying at least one powder layer (20) of a material (22) to at least one building-up and joining zone (60) of at least one movable building platform (70); b) irradiating the powder layer (20) by means of at least one energy beam (80) for at least partially solidifying the powder layer (20) to form the at least one component segment (12), wherein a predetermined target surface roughness (Ra_1) of at least one segment surface (14) of



WO 2021/018329 A1

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

the at least one component segment (12) is created by a relative angle (ζ), assigned to the target surface roughness (Ra_1), being set between the energy beam (80) and a surface normal (17) of the segment surface (14), that is assigned to a point of impingement (16) of the energy beam (80) on the material (22). Further aspects of the invention concern a layer-building device (50) for the additive manufacture of at least one component segment (12) of a component (10), a computer-program product, a computer-readable storage medium (110) as well as a component (10).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments (12) mindestens eines Bauteils (10), insbesondere für eine Strömungsmaschine, umfassend zumindest folgende Schritte: a) Aufträgen von mindestens einer Pulverschicht (20) eines Werkstoffs (22) auf mindestens eine Aufbau- und Fügezone (60) mindestens einer bewegbaren Bauplattform (70); b) Bestrahlen der Pulverschicht (20) mittels mindestens eines Energiestrahls (80) zur zumindest teilweisen Verfestigung der Pulverschicht (20) unter Ausbildung des zumindest einen Bauteilsegments (12), wobei eine vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit (Ra_1) zumindest einer Segmentoberfläche (14) des zumindest einen Bauteilsegments (12) erzeugt wird, indem ein der Soll-Oberflächenrauheit (Ra_1) zugeordneter Relativwinkel (ζ) zwischen dem Energiestrahls (80) und einer, einer Auftreffstelle (16) des Energiestrahls (80) auf den Werkstoff (22) zugeordneten Flächennormalen (17) der Segmentoberfläche (14) eingestellt wird. Weitere Aspekte der Erfindung betreffen eine Schichtbauvorrichtung (50) zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments (12) eines Bauteils (10), ein Computerprogrammprodukt, ein computerlesbares Speichermedium (110) sowie ein Bauteil (10).

Verfahren und Schichtbauvorrichtung zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments eines Bauteils sowie Computerprogrammprodukt und Speichermedium

Beschreibung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schichtbauvorrichtung zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments eines Bauteils. Weitere Aspekte der Erfindung betreffen ein Computerprogrammprodukt, ein computerlesbares Speichermedium und ein Bauteil.

10 Bei einem derartigen Verfahren wird in der Regel ein pulverförmiger Werkstoff schichtweise abgelagert und selektiv mittels wenigstens eines Energiestrahls verfestigt, um ein gewünschtes Bauteilsegment additiv aufzubauen. Damit unterscheidet sich ein solches Verfahren, welches auch als additives bzw. generatives Herstellungsverfahren bezeichnet werden kann, von konventionellen abtragenden oder urformenden Herstellungsmethoden. Beispiele für das Verfahren zur
15 additiven Herstellung sind generative Lasersinter- bzw. Laserschmelzverfahren, die beispielsweise zur Herstellung von Bauteilen für Strömungsmaschinen wie Flugtriebwerke verwendet werden können. Beim selektiven Laserschmelzen können dünne Pulverschichten des oder der verwendeten Werkstoffe auf eine Bauplatzform aufgebracht und mit Hilfe eines oder mehrerer Laserstrahlen lokal im Bereich einer Aufbau- und Fügezone aufgeschmolzen und verfestigt werden.
20 Anschließend kann die Bauplatzform abgesenkt, eine weitere Pulverschicht aufgebracht und erneut lokal verfestigt werden. Dieser Zyklus kann solange wiederholt werden, bis das fertige Bauteil bzw. das fertige Bauteilsegment erhalten wird. Das Bauteil bzw. Bauteilsegment kann anschließend bei Bedarf weiterbearbeitet oder ohne weitere Bearbeitungsschritte verwendet werden. Beim selektiven Lasersintern wird das Bauteil oder Bauteilsegment in ähnlicher Weise
25 durch laserunterstütztes Sintern von pulverförmigen Werkstoffen hergestellt. Die Zufuhr der Energie erfolgt hierbei beispielsweise durch Laserstrahlen eines CO₂-Lasers, Nd:YAG-Lasers, Yb-Faserlasers, Diodenlasers oder dergleichen. Ebenfalls bekannt sind Elektronenstrahlverfahren, bei welchen der Werkstoff durch einen oder mehrere Elektronenstrahlen selektiv verfestigt wird.

30

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Schichtbauvorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, durch welche zumindest ein Bauteilsegment eines Bauteils aufwandsarm mit zumindest lokal verbesserter Qualität hergestellt werden kann. Weitere Aufga-

benerfindung bestehen darin, ein Computerprogrammprodukt und ein computerlesbares Speichermedium anzugeben, welche eine Steuerung einer solchen Schichtbauvorrichtung ermöglichen. Schließlich ist es Aufgabe der Erfindung, ein Bauteil mit wenigstens einem, eine verbesserte Qualität aufweisenden Bauteilsegment anzugeben.

5

Die Aufgaben werden erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, durch eine Schichtbauvorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10, durch ein Computerprogrammprodukt gemäß Patentanspruch 13, durch ein computerlesbares Speichermedium gemäß Patentanspruch 14 sowie durch ein Bauteil gemäß Patentanspruch 15 gelöst.

10 Vorteilhafte Ausgestaltungen mit zweckmäßigen Weiterbildungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen jedes Erfindungsaspekts als vorteilhafte Ausgestaltungen der jeweils anderen Erfindungsaspekte anzusehen sind.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments mindestens eines Bauteils, insbesondere für eine Strömungsmaschine, umfassend zumindest folgende Schritte:

- a) Auftragen von mindestens einer Pulverschicht eines Werkstoffs auf mindestens eine Aufbau- und Fügezone mindestens einer bewegbaren Bauplattform;
- b) Bestrahlen der Pulverschicht mittels mindestens eines Energiestrahls zur zumindest teilweisen Verfestigung der Pulverschicht unter Ausbildung des zumindest einen Bauteilsegments, wobei eine vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit zumindest einer Segmentoberfläche des zumindest einen Bauteilsegments erzeugt wird, indem ein der Soll-Oberflächenrauheit zugeordneter Relativwinkel zwischen dem Energiestrahls und einer, einer Auftreffstelle des Energiestrahls auf den Werkstoff zugeordneten Flächennormalen der Segmentoberfläche eingestellt wird.

20
25

Dies ist von Vorteil, da durch das Erzeugen der vorbestimmten Soll-Oberflächenrauheit zumindest an dem Bauteilsegment des Bauteils eine verbesserte Qualität beispielsweise gegenüber von dem Bauteilsegment verschiedenen Bauteilbereichen des Bauteils erzeugt werden kann. Der Relativwinkel zwischen dem Energiestrahls und der Flächennormalen der Segmentoberfläche an der Auftreffstelle stellt eine besonders aufwandsarm kontrollierbare und einstellbare Einstellgröße dar, wodurch das Verfahren beispielsweise mit einer hohen Reproduzierbarkeit der Soll-Oberflächenrauheit beispielsweise bei einer Massenproduktion des Bauteils eingesetzt werden kann.

30

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich die Soll-Oberflächenrauheit direkt proportional zum Relativwinkel zwischen dem Energiestrahle und der Flächennormalen verhält, wodurch einem bestimmten Rauheitswert der Soll-Oberflächenrauheit ein bestimmter Winkelwert bzw. Winkelbetrag des Relativwinkels zugeordnet sein kann. Diese Erkenntnis ermöglicht es, die Soll-Oberflächenrauheit in Abhängigkeit von dem Relativwinkel gezielt zu erzeugen. Somit ist nicht nur eine Oberflächenrauheits-Prognose bei bekanntem Relativwinkel ermöglicht, sondern die Soll-Oberflächenrauheit kann auch ohne aufwändige Regelung einer Bestrahlungsdauer und zusätzlich oder alternativ einer Strahlungsintensität des Energiestrahls vorbestimmt erzeugt werden. Das Verfahren ermöglicht insbesondere die gezielte Erzeugung der Soll-Oberflächenrauheit ohne hierzu die Bestrahlungsdauer und zusätzlich oder alternativ die Strahlungsintensität des Energiestrahls zu variieren. Die vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit kann also mit anderen Worten in Abhängigkeit von der Einstellung des Relativwinkels unter Verzicht auf eine Änderung der Strahlungsintensität und/oder der Bestrahlungsdauer des Energiestrahls erzeugt werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird in Schritt b) eine translatorische und/oder rotatorische Relativbewegung zwischen dem mindestens einen Energiestrahle und der wenigstens einen Bauplatzform durchgeführt, um den Energiestrahle auf eine von der Auftreffstelle verschiedene, zweite Auftreffstelle zu richten, wobei eine von der vorbestimmten Soll-Oberflächenrauheit verschiedene, zweite vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit zumindest der Segmentoberfläche erzeugt wird, indem ein, der zweiten Oberflächenrauheit zugeordneter, zweiter Relativwinkel zwischen dem Energiestrahle und einer, der zweiten Auftreffstelle des Energiestrahls auf den Werkstoff zugeordneten zweiten Flächennormalen der Segmentoberfläche eingestellt wird. Dies ist von Vorteil, da hierdurch gezielt die von der Soll-Oberflächenrauheit verschiedene, zweite Soll-Oberflächenrauheit an der zweiten Auftreffstelle des Energiestrahls eingestellt werden kann. Mit der Soll-Oberflächenrauheit und der zweiten Soll-Oberflächenrauheit können zumindest zwei voneinander verschiedene Oberflächenbeschaffenheiten mit entsprechend verschiedenen Rauheitswerten an der Segmentoberfläche erzeugt werden. Dies ermöglicht eine besonders bedarfsgerechte Erzeugung verschiedener Flächenbereiche mit unterschiedlicher Oberflächenqualität.

In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung erfolgen die weiteren Schritte: c) schichtweises Absenken der mindestens einen Bauplattform und d) Wiederholen der Schritte a) bis c). Dies ermöglicht in vorteilhafter Weise ein sukzessives, schichtweises Aufbauen des Bauteilsegments bzw. des Bauteils, wobei die Soll-Oberflächenrauheit bereits während des Aufbaus und ohne aufwändige Nachbearbeitung des Bauteilsegments bzw. des Bauteils erzeugt werden kann. Dadurch kann eine Zeitersparnis beim Herstellen des Bauteils erzielt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird als der Energiestrahle ein Laserstrahl oder ein Elektronenstrahl herangezogen. Dadurch kann das Bauteilsegment oder das komplette Bauteil hergestellt werden, wobei deren mechanische Eigenschaften zumindest im Wesentlichen denen des Werkstoffs entsprechen können.

In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird der Relativwinkel eingestellt, indem eine den Energiestrahle emittierende Strahlungsquelle translatorisch und/oder rotatorisch relativ zu der mindestens einen Bauplattform bewegt wird. Dies ist von Vorteil, da hierdurch auf eine aufwändige Optik zur Umlenkung des Energiestrahls verzichtet werden kann und stattdessen eine Ausrichtung des Energiestrahls unmittelbar und exakt eingestellt werden kann, um dadurch den Relativwinkel einzustellen. Die Strahlungsquelle kann beispielsweise ein CO₂-Laser, Nd:YAG-Laser, Yb-Faserlaser, Diodenlaser oder dergleichen sein.

In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird der Relativwinkel eingestellt, indem die mindestens eine Bauplattform translatorisch und/oder rotatorisch relativ zu dem mindestens einen Energiestrahle bewegt wird. Dies ist von Vorteil, da hierdurch eine erhöhte Flexibilität bei der Einstellung des Relativwinkels gegeben ist. Die Bauplattform kann beispielsweise geneigt werden, um den Relativwinkel einzustellen. Durch Neigen der Bauplattform kann eine Einstellung eines Neigungswinkels des Bauteils relativ zum Energiestrahle und zusätzlich oder alternativ relativ zu einer den Energiestrahle emittierenden Strahlungsquelle erfolgen.

In weiteren vorteilhaften Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Bestrahlen der Pulverschicht gemäß Schritt b) mittels mindestens zweier Energiestrahlen, wobei die Energiestrahlen jeweils mittels einer zugeordneten Strahlungsquelle emittiert werden und wobei unterschiedliche vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheiten durch einen dem jeweiligen Energiestrahle zugeordneten Relativwinkel zwischen dem jeweiligen Energiestrahle und der jeweiligen

Auftreffstelle des Energiestrahls auf den Werkstoff zugeordneten Flächennormalen der Segmentoberfläche eingestellt wird. Zudem besteht die Möglichkeit, dass die mindestens zwei Energiestrahlen zur Herstellung unterschiedlicher Soll-Oberflächenrauheiten eines Bauteils oder zur Herstellung unterschiedlicher Soll-Oberflächenrauheiten von mindestens zwei unterschiedlichen Bauteilen verwendet werden. Damit ist das Verfahren auch mit sogenannten "Multi Laser Anlagen" anwendbar. Dabei kann ein Bauteil mit unterschiedlichen Soll-Oberflächenrauheiten mit mehreren Lasern hergestellt werden oder es werden auf einer Bauplattform unterschiedliche Bauteile mit unterschiedlichen Soll-Oberflächenrauheiten mit jeweils einem zugeordneten Laser hergestellt. Vorteilhafterweise erhöhen sich damit die möglichen Anwendungsbereiche des erfindungsgemäßen Verfahrens. Zudem kann die Bauzeit eines einzelnen oder auch mehrerer unterschiedlicher Bauteile insgesamt verringert werden. Zudem besteht die Möglichkeit, dass nur derjenige von mehreren Energiestrahlen in Schritt b) aktiviert wird, dessen zugeordneter Relativwinkel eine geringere relative Abweichung zu einem vorbestimmten Relativwinkel zu Erzielung einer vorbestimmten Soll-Oberflächenrauheit aufweist. Auch diese Maßnahme führt zu einer Verkürzung der Bauzeiten, da die Einstellzeiten der einzelnen Strahlungsquellen bezüglich ihres Einstrahlwinkels verkürzt werden können.

In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird ein Minimal-Rauheitswert der Soll-Oberflächenrauheit durch Minimieren des Relativwinkels erzeugt. Dies ist von Vorteil, da die Segmentoberfläche somit umso glatter ausgebildet werden kann, je kleiner der Relativwinkel zwischen dem Energiestrahle und der Flächennormalen eingestellt wird. Zudem kann die Soll-Oberflächenrauheit umso größer werden, je größer der Relativwinkel eingestellt wird.

Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft eine Schichtbauvorrichtung zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments mindestens eines Bauteils, insbesondere für eine Strömungsmaschine, umfassend:

- mindestens eine bewegbare Bauplattform, welche eine Aufbau- und Fügezone aufweist, welche zum Halten mindestens einer, auf die Aufbau- und Fügezone auftragbaren Pulverschicht eines Werkstoffs ausgebildet ist;
- mindestens eine Strahlungsquelle zum Erzeugen wenigstens eines Energiestrahls zum zumindest teilweisen Verfestigen der Pulverschicht unter Ausbildung des zumindest einen Bauteilsegments;

- mindestens eine Bewegungsvorrichtung, welche dazu eingerichtet ist, den Energiestrahл und/oder die Bauplattform zu bewegen; und
- mindestens eine Steuereinrichtung, welche dazu ausgebildet ist, die Bewegungsvorrichtung zum Bewegen des Energiestrahls und/oder der Bauplattform zu steuern.

5

Gemäß der Erfindung ist die Steuereinrichtung dazu konfiguriert, die Bewegungsvorrichtung derart zu steuern, dass ein Relativwinkel zwischen dem Energiestrahл und einer, einer Auftreffstelle des Energiestrahls auf den Werkstoff zugeordneten Flächennormalen einer Segmentoberfläche des Bauteilsegments eingestellt wird, um eine vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit der

10 zumindest einen Segmentoberfläche des zumindest einen Bauteilsegments zu erzeugen, wobei der Relativwinkel der Soll-Oberflächenrauheit zugeordnet ist. Die Schichtbauvorrichtung kann insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung eingerichtet sein.

- 15 In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Schichtbauvorrichtung als selektive Lasersinter- und/oder -schmelzvorrichtung ausgebildet. Hierdurch können Bauteilsegmente und komplette Bauteile hergestellt werden, deren mechanischen Eigenschaften zumindest im Wesentlichen denen des Werkstoffs entsprechen. Zur Erzeugung eines Laserstrahls können beispielsweise CO₂-Laser, Nd:YAG-Laser, Yb-Faserlaser, Diodenlaser oder dergleichen als Strahlenquelle vorgesehen sein. Ebenso kann vorgesehen sein, dass zwei oder mehr Elektronen-
- 20 und/oder Laserstrahlen verwendet werden, deren Belichtungs- bzw. Verfestigungsparameter variiert werden können.

- In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann die Schichtbauvorrichtung mindestens
- 25 zwei Strahlungsquellen zum Erzeugen wenigstens zweier Energiestrahlen zum zumindest teilweisen Verfestigen der Pulverschicht unter Ausbildung von zumindest zwei Bauteilsegmenten mit unterschiedlichen Soll-Oberflächenrauheiten eines Bauteils oder unter Ausbildung von mindestens zwei Bauteilen mit unterschiedlichen Soll-Oberflächenrauheiten umfassen. Vorteilhafterweise handelt es sich bei dieser Ausführungsform der Erfindung um eine sogenannte "Multi
- 30 Laser Anlage". Dabei kann ein Bauteil mit unterschiedlichen Soll-Oberflächenrauheiten mit mehreren Lasern hergestellt werden oder es werden auf einer Bauplattform unterschiedliche Bauteile mit unterschiedlichen Soll-Oberflächenrauheiten mit jeweils einem zugeordneten Laser hergestellt. Vorteilhafterweise erhöhen sich damit die möglichen Anwendungsbereiche der er-

findungsgemäßen Schichtbauvorrichtung. Zudem kann hier die Bauzeit eines einzelnen oder auch mehrerer unterschiedlicher Bauteile insgesamt verringert werden.

- 5 Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Computerprogrammprodukts durch eine Steuereinrichtung einer Schichtbauvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung die Schichtbauvorrichtung veranlassen, das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung auszuführen. Ein vierter Aspekt der Erfindung betrifft ein computerlesbares Speichermedium, umfassend Befehle, die bei
10 der Ausführung durch eine Steuereinrichtung einer Schichtbauvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung die Schichtbauvorrichtung veranlassen, das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung auszuführen.

Die vorliegende Erfindung kann mit Hilfe eines Computerprogrammprodukts realisiert werden,
15 das Programmmodule umfasst, die von einem computerverwendbaren oder computerlesbaren Medium aus zugänglich sind und Programmcode speichern, der von oder in Verbindung mit einem oder mehreren Computern, Prozessoren oder Befehlsausführungssystemen einer Schichtbauvorrichtung verwendet wird. Für die Zwecke dieser Beschreibung kann ein computerverwendbares oder computerlesbares Medium jede Vorrichtung sein, die das Computerprogramm-
20 produkt zur Verwendung durch oder in Verbindung mit dem Befehlsausführungssystem, der Vorrichtung oder der Vorrichtung enthalten, speichern, kommunizieren, verbreiten oder transportieren kann. Das Medium kann ein elektronisches, magnetisches, optisches, elektromagnetisches, Infrarot- oder Halbleitersystem oder ein Ausbreitungsmedium an sich sein, da Signalträger nicht in der Definition des physischen, computerlesbaren Mediums enthalten sind. Dazu ge-
25 hören ein Halbleiter- oder Festkörperspeicher, Magnetband, eine austauschbare Computerdiskette, ein Direktzugriffsspeicher (RAM), ein Nur-Lese-Speicher (ROM), eine starre Magnetplatte und eine optische Platte wie ein Nur-Lese-Speicher (CD-ROM, DVD, Blue-Ray etc.), oder eine beschreibbare optische Platte (CD-R, DVD-R). Sowohl Prozessoren als auch Programmcode zur Implementierung der einzelnen Aspekte der Erfindung können zentralisiert oder verteilt werden
30 (oder eine Kombination davon).

Ein fünfter Aspekt der Erfindung betrifft ein Bauteil, insbesondere für eine Strömungsmaschine, umfassend zumindest ein Bauteilsegment, welches mittels einer Schichtbauvorrichtung gemäß

dem zweiten Aspekt der Erfindung und/oder mittels eines Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung hergestellt ist. Die sich hieraus ergebenden Merkmale und deren Vorteile sind den Beschreibungen des ersten und zweiten Erfindungsaspekts zu entnehmen, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen jedes Erfindungsaspekts als vorteilhafte Ausgestaltungen der jeweils anderen Erfindungsaspekte anzusehen sind.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, den Figuren und der Figurenbeschreibung. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen, sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in den Figuren alleine gezeigten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Es sind somit auch Ausführungen von der Erfindung als umfasst und offenbart anzusehen, die in den Figuren nicht explizit gezeigt und erläutert sind, jedoch durch separierte Merkmalskombinationen aus den erläuterten Ausführungen hervorgehen und erzeugbar sind. Es sind auch Ausführungen und Merkmalskombinationen als offenbart anzusehen, die somit nicht alle Merkmale eines ursprünglich formulierten unabhängigen Anspruchs aufweisen. Es sind darüber hinaus Ausführungen und Merkmalskombinationen, insbesondere durch die oben dargelegten Ausführungen, als offenbart anzusehen, die über die in den Rückbezügen der Ansprüche dargelegten Merkmalskombinationen hinausgehen oder von diesen abweichen. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Perspektivansicht einer Schichtbauvorrichtung, mittels welcher ein Bauteil durch ein Verfahren zur additiven Herstellung hergestellt wird, wobei ein Energiestrahл auf eine Auftreffstelle auftrifft;

Fig. 2 eine schematische Seitenansicht der Schichtbauvorrichtung, wobei der Energiestrahл parallel zu einer x-z-Ebene auf die Auftreffstelle auftrifft;

Fig. 3 eine weitere schematische Seitenansicht der Schichtbauvorrichtung, wobei der Energiestrahл in parallel zu der x-z-Ebene auf eine zweite Auftreffstelle auftrifft; und

Fig. 4 eine schematische Seitenansicht der Schichtbauvorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform.

FIG. 1, FIG. 2, FIG. 3 und **FIG. 4** zeigen jeweils in schematischer Darstellung eine Schichtbauvorrichtung 50 zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments 12 eines Bauteils 10. Das Bauteil 10 kann für eine Strömungsmaschine, insbesondere ein Strahltriebwerk, verwendet werden. Die Schichtbauvorrichtung 50 ist vorliegend als selektive Lasersinter- und/oder -schmelzvorrichtung ausgebildet.

In **FIG. 1, FIG. 2, FIG. 3** und **FIG. 4** sind jeweils auf das Bauteil 10 bezogene Koordinatensysteme angegeben, welche durch eine Achse x, durch eine Achse y sowie durch eine Achse z des Bauteils 10 definiert sind.

10

Die Schichtbauvorrichtung 50 umfasst eine bewegbare Bauplattform 70, welche eine Aufbau- und Fügezone 60 aufweist. Die Aufbau- und Fügezone 60 ist zum Halten einer, auf die Aufbau- und Fügezone 60 aufgetragenen Pulverschicht 20 eines Werkstoffs 22 ausgebildet.

15 Als der pulverförmige Werkstoff 22 kann beispielsweise eine Nickelbasis Legierung mit dem Kurznamen NiCr19NbMo verwendet werden, welche die folgende Zusammensetzung aufweisen kann:

Cr: 19 Ma%, Fe: 18 Ma%, Mo: 3 Ma%, Al: 0,5 Ma%, Nb+Ta: 5,1 Ma%, Ti: 0,95 Ma%, C: 0,05
20 Ma%, Ni: Rest. Einzelne, aus diesem Werkstoff 22 gebildete Partikel können eine sphärische Grundform und einen Durchmesser zwischen 15 μm und 45 μm aufweisen.

Die Schichtbauvorrichtung 50 umfasst zudem eine Strahlungsquelle SQ zum Erzeugen eines Energiestrahls 80 zum zumindest teilweisen Verfestigen der Pulverschicht 20 unter Ausbildung
25 des Bauteilsegments 12. Als der Energiestrahls 80 wird ein Laserstrahl oder ein Elektronenstrahl herangezogen, welcher mittels der Strahlungsquelle SQ emittiert wird.

Des Weiteren umfasst die Schichtbauvorrichtung 50 eine Bewegungsvorrichtung 90, welche dazu eingerichtet ist, den Energiestrahls 80 und die Bauplattform 70 zu bewegen. Die Bewegungsvorrichtung 90 kann beispielsweise eine Mehrzahl an Aktuatoren umfassen, anhand welcher eine
30 jeweilige Relativbewegung RB der Strahlungsquelle SQ und der Bauplattform 70 bewirkt werden kann.

Zudem umfasst die Schichtbauvorrichtung 50 eine Steuereinrichtung 100, welche dazu ausgebildet ist, die Bewegungsvorrichtung 90 zum Bewegen des Energiestrahls 80 und der Bauplattform 70 zu steuern.

- 5 Die Steuereinrichtung 100 ist dazu konfiguriert, die Bewegungsvorrichtung 90 derart zu steuern, dass ein Relativwinkel ζ zwischen dem Energiestrahls 80 und einer, einer Auftreffstelle 16 des Energiestrahls 80 auf den Werkstoff 22 zugeordneten Flächennormalen 17 einer Segmentoberfläche 14 des Bauteilsegments 12 eingestellt wird, um eine vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit Ra_1 der zumindest einen Segmentoberfläche 14 des zumindest einen Bauteilsegments 12 zu erzeugen, wobei der Relativwinkel ζ der Soll-Oberflächenrauheit Ra_1 zugeordnet ist.

Die Steuereinrichtung 100 kann ein Modell des Bauteils 10 umfassen. Das Modell des Bauteils 10 kann das Bauteil 10 charakterisierende Geometriedaten umfassen. Die Steuereinrichtung 100 kann nun dazu eingerichtet sein, während der Herstellung des Bauteilsegments 12 bzw. des Bauteils 10 den Relativwinkel ζ zwischen dem Energiestrahls 80 und der Flächennormalen 17 anhand der Bewegungsvorrichtung 90 derart durch die Relativbewegung RB der Strahlungsquelle SQ und zusätzlich oder alternativ der Bauplattform 70 einzustellen, dass der Relativwinkel ζ während der additiven Herstellung des Bauteilsegments 12 bzw. des Bauteils 10 in Abhängigkeit von einer sich ändernden Orientierung der Flächennormalen 17 kleinstmöglich gehalten wird. Dadurch kann die Soll-Oberflächenrauheit Ra_1 ebenfalls einen kleinstmöglichen Betrag aufweisen. Sofern beispielsweise die Flächennormalen 17 in ein, aus dem Werkstoff 22 gebildetes Pulverbett 24 ragt, so kann die Strahlungsquelle SQ und zusätzlich oder alternativ die Bauplattform 70 anhand der Bewegungsvorrichtung 90 derart entsprechend der Relativbewegung RB bewegt, insbesondere verschwenkt, werden, dass der Energiestrahls 80, bei welchem es sich vorliegend um einen Laserstrahl handelt, nahezu parallel zu einer, durch die Achse y und die Achse y aufgespannten x-y-Ebene auf die Auftreffstelle 16 auftrifft. Der Energiestrahls 80 kann dann mit der x-y-Ebene beispielsweise einen Winkel von weniger als 10° , bevorzugt 5° einschließen und dadurch nahezu parallel zur x-y-Ebene orientiert sein. Mit anderen Worten kann also ein Minimal-Rauheitswert der Soll-Oberflächenrauheit Ra_1 durch Minimieren des Relativwinkels ζ erzeugt werden.

In die Steuereinrichtung 100 ist vorliegend ein computerlesbares Speichermedium 110 integriert, welches ein Computerprogrammprodukt mit Befehlen zum entsprechenden Ansteuern der Schichtbauvorrichtung 50 umfasst.

- 5 Zusammenfassend kann der Relativwinkel ζ eingestellt werden, indem die den Energiestrahle 80 emittierende Strahlungsquelle SQ relativ zu der Bauplatzform 70 bewegt, insbesondere verschwenkt, wird. Zusätzlich oder alternativ kann der Relativwinkel ζ eingestellt werden, indem die Bauplatzform 70 relativ zu dem Energiestrahle 80 bewegt, insbesondere verschwenkt, wird.
- 10 Um zumindest das Bauteilsegment 12 des Bauteils 10 additiv herzustellen erfolgt in einem Schritt a) zunächst ein Auftragen der mindestens einen Pulverschicht 20 des Werkstoffes 22 auf die Aufbau- und Fügezone 60 der mittels der Bewegungsvorrichtung 90 bewegbaren, insbesondere schwenkbaren, Bauplatzform 70. Anschließend erfolgt, wie in Fig. 2 exemplarisch gezeigt ist, in einem Schritt b) ein Bestrahlen der Pulverschicht 20 mittels des Energiestrahls 80 zur
- 15 teilweisen Verfestigung der Pulverschicht 20 unter Ausbildung des Bauteilsegments 12, wobei die vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit Ra_1 der Segmentoberfläche 14 des Bauteilsegments 12 erzeugt wird, indem der der Soll-Oberflächenrauheit Ra_1 zugeordnete Relativwinkel ζ zwischen dem Energiestrahle 80 und der, der Auftreffstelle 16 des Energiestrahls 80 auf den Werkstoff 22 zugeordneten Flächennormalen 17 der Segmentoberfläche 14 eingestellt wird. Darüber
- 20 hinaus wird in Schritt b) die Relativbewegung RB zwischen dem Energiestrahle 80 und der Bauplatzform 70 durchgeführt, um den Energiestrahle 80 auf eine von der Auftreffstelle 16 verschiedene, zweite Auftreffstelle 18 zu richten, wie exemplarisch in Fig. 3 gezeigt ist. Dabei wird eine von der vorbestimmten Soll-Oberflächenrauheit Ra_1 verschiedene, zweite vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit Ra_2 der Segmentoberfläche 14 erzeugt, indem ein, der zweiten Oberflächenrauheit Ra_2 zugeordneter, zweiter Relativwinkel ζ_2 zwischen dem Energiestrahle 80 und
- 25 einer, der zweiten Auftreffstelle 18 des Energiestrahls 80 auf den Werkstoff 22 zugeordneten zweiten Flächennormalen 19 der Segmentoberfläche 14 eingestellt wird. In einem weiteren Schritt c) erfolgt ein schichtweises Absenken der Bauplatzform 70. Anschließend erfolgt in einem weiteren Schritt d) ein Wiederholen der Schritte a) bis c) bis das Bauteil 10 vollständig
- 30 additiv hergestellt ist.

Als besonders vorteilhaft hat es sich gezeigt, wenn der Relativwinkel ζ der Gleichung (1)

$$\zeta = \arccos [\sin(\alpha) \sin(\varepsilon) + \cos(\alpha) \cos(\varepsilon) \cos(\xi - \chi)] \quad (1)$$

5 genügt, in welcher

α Aufbauwinkel, welcher einem Polarwinkel der Flächennormalen 17 entsprechen kann,

ε Einstrahlwinkel, welcher einem Polarwinkel des Energiestrahls 80 entsprechen kann,

ξ Azimuthalwinkel der Flächennormalen 17

χ Azimuthalwinkel des Energiestrahls 80

10 bedeuten. Die Winkel α , ε , ξ , χ stellen besonders genau einstellbare Größen dar, sodass anhand dieser Größen auch eine besonders genaue Einstellung des Relativwinkels ζ erfolgen kann. Die Gleichung (1) gilt auch für den in Fig. 3 gezeigten Relativwinkel ζ_2 , sodass mit Bezug auf Fig. 3 die Gleichung (1) auch folgendermaßen ausgedrückt werden kann:

$$15 \quad \zeta_2 = \arccos [\sin(\alpha) \sin(\varepsilon) + \cos(\alpha) \cos(\varepsilon) \cos(\xi - \chi)]$$

Durch die Verwendung der beiden Azimuthalwinkel ξ , χ für die Darstellung des Einstrahlwinkels ε des Energiestrahls 80 und der Flächennormalen 17, welche auch als Oberflächennormale bezeichnet werden kann, in Kugelkoordinaten kann eine relative Verkipfung zwischen dem Bau-
20 teil 10 und der Strahlungsquelle SQ in der Gleichung (1) berücksichtigt werden.

Der Term $\cos(\xi - \chi)$ nimmt den Wert „1“ an, wenn der Ausdruck
($\xi - \chi$) dem Wert „0“ entspricht, also beispielsweise die Winkel ξ und χ jeweils 0° betragen. Dies ist in Fig. 2 und Fig. 3 gezeigt. In diesem Fall kann der Relativwinkel ζ durch eine Gleichung (2)
25

$$\zeta = |\alpha - \varepsilon| \quad (2)$$

beschrieben werden.

30

Die Gleichung (2) stellt eine zweidimensionale Betrachtung dar, und ist unter der Voraussetzung gültig, dass der Einstrahlwinkel ε des Energiestrahls 80 und die Flächennormalen 17

(Oberflächennormale) in der x-y-Ebene und damit parallel zur Achse z liegen. In diesem Fall ist der Term mit den beiden Azimuthalwinkeln ξ, χ „ $\cos(\xi - \chi)$ “ gleich „1“, da die Differenz der beiden Azimuthalwinkel ξ, χ den Wert „0“ ergibt oder beide Azimuthalwinkel ξ, χ den Wert „0“ aufweisen. Dadurch kann die Gleichung (1) auf die Gleichung (2) vereinfacht werden. Gleichung (2) kann in diesem Fall einen Sonderfall von Gleichung (1) darstellen.

Durch den formeltechnischen Zusammenhang über die Gleichung (1) bei dreidimensionaler Betrachtung, bzw. Gleichung (2) bei zweidimensionaler Betrachtung kann je nach Bauraumposition und Geometrie des Bauteils 10 dessen Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2 vorherbestimmt und gegebenenfalls bedarfsgerecht reduziert werden. Die Möglichkeit einer Reduzierung der Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2 ist hierbei um ein Vielfaches höher als durch Veränderung von den Energiestrahle 80 betreffenden Belichtungsparametern.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich die jeweilige Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2 direkt proportional zum Relativwinkel ζ verhält. Bei Verwendung des jeweiligen formeltechnischen Zusammenhangs nach Gleichung (1) oder (2) kann die Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2 je nach Bauraumposition und Geometrie des Bauteils 10 vorhergesagt und gegebenenfalls minimiert oder zumindest reduziert werden.

Beispielsweise kann ein Ra-Wert von $5 \mu\text{m}$ für die Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2 erreicht werden, wenn der Relativwinkel ζ einen Wert von 0° aufweist. Bei einem Anstieg des Relativwinkels ζ je 1° kann ein Rauheitsanstieg der jeweiligen Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2 um $0,65 \mu\text{m}$ erzielt werden. Bei einem Wert des Relativwinkels ζ von 45° kann der zugehörige Ra-Wert etwa $35 \mu\text{m}$ entsprechen. Im Gegensatz zu einer Rauheitsreduzierung durch Anpassung von den Energiestrahle 80 betreffenden Parametern (Belichtungsparameter), wodurch beispielsweise eine Belichtungsstrategie geändert werden kann und wodurch die Rauheitsreduzierung einen Maximalwert von $10 \mu\text{m}$ gestattet, können also durch die Einstellung des Relativwinkels ζ deutlich glattere Oberflächen, wie beispielsweise die Segmentoberfläche 14, gebildet werden. Um eine Nutzung des Relativwinkels ζ und infolgedessen eine Rauheitsreduzierung beispielsweise an der Segmentoberfläche 14 zu erreichen, bestehen verschiedene Möglichkeiten:

Von besonderem Vorteil ist eine Anpassung eines Neigungswinkels des Bauteils 10, beispielsweise durch die Relativbewegung RB der Bauplattform 70 relativ zur Strahlungsquelle SQ. Der Neigungswinkel kann je Bauraumposition angepasst werden, sodass ein Maximalwert der Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2 unter einer Hypothese, dass bei dem Maximalwert der Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2 ein Versagen des Bauteils 10 bei dessen bestimmungsgemäßem Gebrauch auftreten kann, verringert werden kann. Eine dadurch bewirkte, etwaige Rauheitswert-erhöhung an weiteren Oberflächen des Bauteils 10 kann dann in Kauf genommen werden.

Je nach Winkelbetrag oder Relativwinkelbereich des Relativwinkels ζ kann bevorzugt ein vor-
eingestelltes, dem Modell des Bauteils 10 zugeordnetes Parametersetup für das Bestrahlen der Pulverschicht 20 mittels des Energiestrahls 80 verwendet werden. Anhand der Gleichungen (1), (2) können allgemein verschiedene Winkelbeträge des Relativwinkels ζ ermittelt werden, wobei jedem der Winkelbeträge jeweils ein Rauheitswert zugeordnet sein kann. Eine daraus ermittelte Relativwinkel-Rauheitswert-Funktion, also mit anderen Worten eine Funktion, welche die Rauheitswerte als Funktion verschiedener Relativwinkel ζ ausdrückt, kann im Speichermedium 110 und zusätzlich oder alternativ in der Steuereinrichtung 100 hinterlegt sein. Dadurch kann die Bestimmung der verschiedenen, beim additiven Herstellen zu erwartenden Rauheitswerts zunächst anhand des Modells des Bauteils 10 erfolgen. Anschließend können die verschiedenen Rauheitswerte der Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2 unter Verwendung der Gleichungen (1) oder (2) und zusätzlich oder alternativ der Relativwinkel-Rauheitswert-Funktion beim additiven Herstellen des Bauteilsegments 12 bzw. des Bauteils 10 erzeugt werden. Die Verwendung der Relativwinkel-Rauheitswert-Funktion beim additiven Herstellen ermöglicht eine besonders bedarfsgerechte und schnelle Erzeugung der Soll-Oberflächenrauheit Ra_1, Ra_2.

Zum bedarfsgerechten Bestrahlen kann die Strahlungsquelle SQ, welche auch als Belichtungseinheit bezeichnet werden kann, anhand der Bewegungsvorrichtung 90 verfahrbar und neigbar sein, wodurch eine Minimierung des Relativwinkels ζ ermöglicht werden kann.

Durch das Einstellen des Relativwinkels ζ bzw. des zweiten Relativwinkels ζ_2 kann die Soll-Oberflächenrauheit Ra_1 bzw. die zweiten Oberflächenrauheit Ra_2 erzeugt und damit eine vorbestimmte Oberflächenqualität der Segmentoberfläche 14 eingestellt werden.

Das vorliegende Verfahren stellt einen wesentlichen Vorteil gegenüber konventionellen Herstellungsmethoden dar. Bei diesen konventionellen Herstellungsmethoden können je nach Parameter, Bauraumposition und Geometrie eines zu erzeugenden Werkstücks Oberflächenrauheiten R_a von bis zu $45\ \mu\text{m}$ entstehen. Gerade bei der Auslegung von Zielbauteilen auf Dauerfestigkeit müssen bei konventionellen Herstellungsmethoden durch diese verhältnismäßig schlechten Oberflächenrauheiten hohe Abschläge auf jeweilige Materialeigenschaften in Kauf genommen werden. Viele durch diese konventionellen Herstellungsmethoden additiv hergestellte Werkstücke müssen daher für die Verwendung in der Luftfahrt entweder nachbearbeitet oder überdimensioniert werden. Im Gegensatz dazu ermöglicht das vorliegende Verfahren bzw. die vorliegende Schichtbauvorrichtung 50 eine gezielte formeltechnische Einstellung der für das Bauteil 10 erzielbaren Soll-Oberflächenrauheiten R_{a_1} , R_{a_2} des Bauteils, wobei die Soll-Oberflächenrauheiten R_{a_1} , R_{a_2} in Abhängigkeit von der Bauraumposition und der Geometrie des Bauteils 10 durch dessen Modell vorhergesagt und gegebenenfalls reduziert werden können.

FIG. 4 zeigt eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform der Schichtbauvorrichtung 50. Im Gegensatz zu dem in den Figuren 1 bis 3 gezeigten Ausführungsbeispiel weist die hier dargestellte Schichtbauvorrichtung 50 zwei Strahlungsquellen SQ, SQ1 auf. Die Strahlungsquellen SQ, SQ1 erzeugen jeweils einen Energiestahl 80, 82 zum Bestrahlen der Pulverschicht 20 des Werkstoffs 22 auf der bewegbaren Bauplattform 70. Die Energiestrahlen 80, 82 treffen im Bereich der Auftreffstellen 16, 16' auf die Pulverschicht 20, wobei die Auftreffstellen 16, 16' räumlich voneinander getrennt sind und in dem dargestellten Ausführungsbeispiel unterschiedlichen Bauteilen zugeordnet werden können. Es ist aber auch möglich, dass die Auftreffstellen 16, 16' unterschiedlichen Bereichen eines einzelnen Bauteils zugeordnet werden können. Man erkennt, dass unterschiedliche vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheiten $R_{a_1'}$, $R_{a_2'}$ durch den dem jeweiligen Energiestahl 80, 82 zugeordneten Relativwinkel $\zeta_{1'}$, $\zeta_{2'}$ zwischen dem jeweiligen Energiestahl 80, 82 und der jeweiligen Auftreffstelle 16, 16' des Energiestrahls 80, 82 auf den Werkstoff 22 zugeordneten Flächennormalen 17, 17' der Segmentoberfläche 14 erzeugt werden. Die Relativwinkel $\zeta_{1'}$, $\zeta_{2'}$ weisen dabei unterschiedliche Größen, beispielsweise ca. 80° und 120° auf. Bezüglich weiterer Einzelheiten des in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiels wird auf die Erläuterungen zu den Figuren 1 bis 3 verwiesen, wobei gleiche Bezugszeichen identische Merkmale beschreiben. Zudem unterscheidet sich das im Vorhergehenden beschriebene Verfahren grundsätzlich nicht von dem mit der in Fig. 4 dargestellten Schicht-

bauvorrichtung 50 durchgeführten Verfahren zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments 12 mindestens eines Bauteils.

Bezugszeichenliste:

	10	Bauteil
	12	Bauteilsegment
5	14	Segmentoberfläche
	16	Auftreffstelle
	16'	Auftreffstelle
	17	Flächennormale
	17'	Flächennormale
10	18	zweite Auftreffstelle
	19	zweite Flächennormale
	20	Pulverschicht
	22	Werkstoff
	24	Pulverbett
15	50	Schichtbauvorrichtung
	60	Aufbau- und Fügezone
	70	Bauplatzform
	80	Energiestrahle
	82	Energiestrahle
20	90	Bewegungsvorrichtung
	100	Steuereinrichtung
	110	Speichermedium
	Ra_1	Soll-Oberflächenrauheit
	Ra_2	zweite Soll-Oberflächenrauheit
25	Ra_1'	Soll-Oberflächenrauheit
	Ra_2'	zweite Soll-Oberflächenrauheit
	RB	Relativbewegung
	SQ	Strahlungsquelle
	SQ1	Strahlungsquelle
30	x	Achse
	y	Achse
	z	Achse
	α	Aufbauwinkel

	χ	Azimuthalwinkel
	ε	Einstrahlwinkel
	ξ	Azimuthalwinkel
	ζ	Relativwinkel
5	ζ_2	Relativwinkel
	ζ_1'	Relativwinkel
	ζ_2'	Relativwinkel

Patentansprüche

1. Verfahren zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments (12) mindestens eines
5 Bauteils (10), insbesondere für eine Strömungsmaschine, umfassend zumindest folgende Schritte:

a) Auftragen von mindestens einer Pulverschicht (20) eines Werkstoffs (22) auf mindestens eine Aufbau- und Fügezone (60) mindestens einer bewegbaren Bauplattform (70);

10 b) Bestrahlen der Pulverschicht (20) mittels mindestens eines Energiestrahls (80, 82) zur zumindest teilweisen Verfestigung der Pulverschicht (20) unter Ausbildung des zumindest einen Bauteilsegments (12), wobei eine vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit (Ra_1) zumindest einer Segmentoberfläche (14) des zumindest
15 einen Bauteilsegments (12) erzeugt wird, indem ein der Soll-Oberflächenrauheit (Ra_1) zugeordneter Relativwinkel (ζ) zwischen dem Energiestrahls (80, 82) und einer, einer Auftreffstelle (16) des Energiestrahls (80, 82) auf den Werkstoff (22) zugeordneten Flächennormalen (17) der Segmentoberfläche (14) eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

20 dadurch gekennzeichnet, dass

in Schritt b) eine translatorische und/oder rotatorische Relativbewegung (RB) zwischen dem mindestens einen Energiestrahls (80, 82) und der wenigstens einen Bauplattform (70) durchgeführt wird, um den Energiestrahls (80, 82) auf eine von der Auftreffstelle (16) verschiedene, zweite Auftreffstelle (18) zu richten, wobei eine von der vorbestimmten Soll-Oberflächenrauheit
25 (Ra_1) verschiedene, zweite vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit (Ra_2) zumindest der Segmentoberfläche (14) erzeugt wird, indem ein, der zweiten Oberflächenrauheit (Ra_2) zugeordneter, zweiter Relativwinkel (ζ_2) zwischen dem Energiestrahls (80, 82) und einer, der zweiten Auftreffstelle (18) des Energiestrahls (80, 82) auf den Werkstoff (22) zugeordneten zweiten Flächennormalen (19) der Segmentoberfläche (14) eingestellt wird.

30

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

gekennzeichnet durch die weiteren Schritte:

c) schichtweises Absenken der mindestens einen Bauplatzform (70);

d) Wiederholen der Schritte a) bis c).

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 dadurch gekennzeichnet, dass

der Relativwinkel (ζ) eingestellt wird, indem eine den Energiestrahle (80, 82) emittierende Strahlungsquelle (SQ, SQ') translatorisch und/oder rotatorisch relativ zu der mindestens einen Bauplatzform (70) bewegt wird.

10 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Bestrahlen der Pulverschicht (20) gemäß Schritt b) mittels mindestens zweier Energiestrahlen (80, 82) erfolgt, wobei die Energiestrahlen (80, 82) jeweils mittels einer zugeordneten Strahlungsquelle (SQ, SQ1) emittiert werden und wobei unterschiedliche vorbestimmte Soll-

15 Oberflächenrauheiten ($Ra_{1'}$, $Ra_{2'}$) durch einen dem jeweiligen Energiestrahle (80, 82) zugeordneten Relativwinkel ($\zeta_{1''}$, $\zeta_{2''}$) zwischen dem jeweiligen Energiestrahle (80, 82) und der jeweiligen Auftreffstelle (16, 16') des Energiestrahls (80, 82) auf den Werkstoff (22) zugeordneten Flächennormalen (17, 17') der Segmentoberfläche (14) eingestellt wird.

20 6. Verfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass die mindestens zwei Energiestrahlen (80, 82) zur Herstellung unterschiedlicher Soll-Oberflächenrauheiten eines Bauteils oder zur Herstellung unterschiedlicher Soll-Oberflächenrauheiten von mindestens zwei unterschiedlichen Bauteilen verwendet werden.

25

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Relativwinkel (ζ) eingestellt wird, indem die mindestens eine Bauplatzform (70) translatorisch und/oder rotatorisch relativ zu dem mindestens einen Energiestrahle (80, 82) bewegt wird.

30

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

ein Minimal-Rauheitswert der Soll-Oberflächenrauheit (Ra_1) durch Minimieren des Relativwinkels (ζ) erzeugt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8,

5 dadurch gekennzeichnet, dass

der Energiestrahls (80, 82) von mehreren Energiestrahlen in Schritt b) aktiviert wird, dessen zugeordneter Relativwinkel ($\zeta_{1'}$, $\zeta_{2'}$) eine geringere relative Abweichung zu einem vorbestimmten Relativwinkel zu Erzielung einer vorbestimmten Soll-Oberflächenrauheit (Ra_1 , Ra_2) aufweist.

10

10. Schichtbauvorrichtung (50) zur additiven Herstellung zumindest eines Bauteilsegments (12) mindestens eines Bauteils (10), insbesondere für eine Strömungsmaschine, umfassend:

- mindestens eine bewegbare Bauplattform (70), welche eine Aufbau- und Fügezone (60) aufweist, welche zum Halten mindestens einer, auf die Aufbau- und Fügezone (60) auftragbaren Pulverschicht (20) eines Werkstoffs (22) ausgebildet ist;

15

- mindestens eine Strahlungsquelle (SQ, SQ1) zum Erzeugen wenigstens eines Energiestrahls (80, 82) zum zumindest teilweisen Verfestigen der Pulverschicht (20) unter Ausbildung des zumindest einen Bauteilsegments (12);

20

- mindestens eine Bewegungsvorrichtung (90), welche dazu eingerichtet ist, den Energiestrahls (80, 82) und/oder die Bauplattform (70) zu bewegen; und

- mindestens eine Steuereinrichtung (100), welche dazu ausgebildet ist, die Bewegungsvorrichtung (90) zum Bewegen des Energiestrahls (80, 82) und/oder der Bauplattform (70) zu steuern,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 die Steuereinrichtung (100) dazu konfiguriert ist, die Bewegungsvorrichtung (90) derart zu steuern,

dass ein Relativwinkel (ζ) zwischen dem Energiestrahls (80) und einer, einer Auftreffstelle (16) des Energiestrahls (80) auf den Werkstoff (22) zugeordneten Flächennormalen (17) einer Segmentoberfläche (14) des Bauteilsegments (12) eingestellt wird, um eine vorbestimmte Soll-Oberflächenrauheit (Ra_1) der zumindest einen Segmentoberfläche (14) des zumindest einen

30

Bauteilsegments (12) zu erzeugen, wobei der Relativwinkel (ζ) der Soll-Oberflächenrauheit (Ra_1) zugeordnet ist.

11. Schichtbauvorrichtung (50) nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
diese als selektive Lasersinter- und/oder -schmelzvorrichtung ausgebildet ist.
- 5 12. Schichtbauvorrichtung nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Schichtbauvorrichtung (50) mindestens zwei Strahlungsquellen (SQ, SQ1) zum Erzeugen
wenigstens zweier Energiestrahlen (80, 82) zum zumindest teilweisen Verfestigen der Pulver-
schicht (20) unter Ausbildung von zumindest zwei Bauteilsegmenten (12) mit unterschiedlichen
10 Soll-Oberflächenrauheiten (Ra_1', Ra_2') eines Bauteils oder unter Ausbildung von mindestens
zwei Bauteilen mit unterschiedlichen Soll-Oberflächenrauheiten (Ra_1', Ra_2') umfasst.
13. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Computerpro-
grammprodukts durch eine Steuereinrichtung (100) einer Schichtbauvorrichtung (50) nach einem
15 der Ansprüche 10 bis 12 die Schichtbauvorrichtung (50) veranlassen, das Verfahren nach einem
der Ansprüche 1 bis 9 auszuführen.
14. Computerlesbares Speichermedium (110), umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch
eine Steuereinrichtung (100) einer Schichtbauvorrichtung (50) nach einem der Ansprüche 10 bis
20 12 die Schichtbauvorrichtung (50) veranlassen, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9
auszuführen.
15. Bauteil (10), insbesondere für eine Strömungsmaschine, umfassend zumindest ein Bau-
teilsegment (12), welches mittels einer Schichtbauvorrichtung (50) nach einem der Ansprüche 10
25 bis 12 und/oder mittels eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 hergestellt ist.

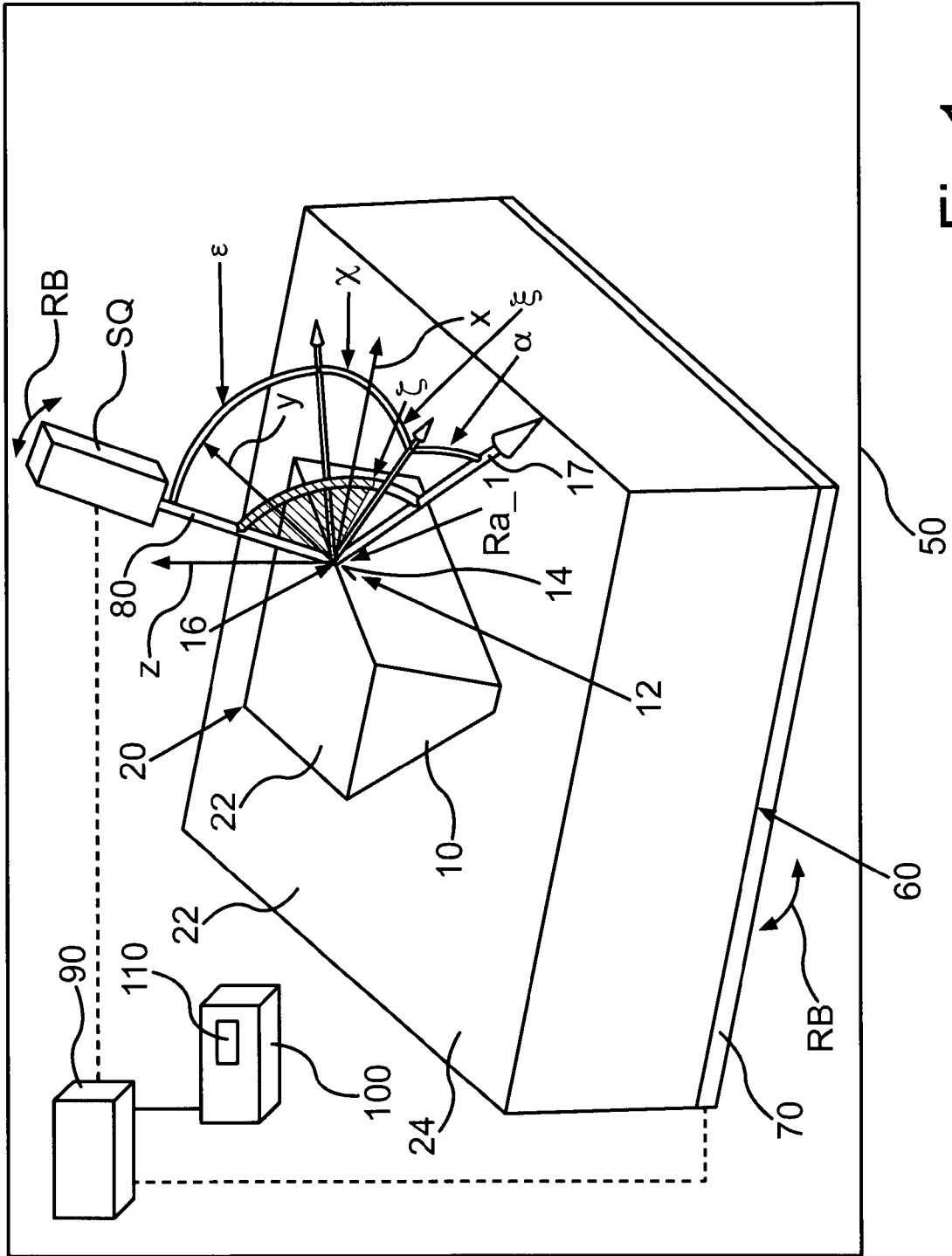


Fig.1

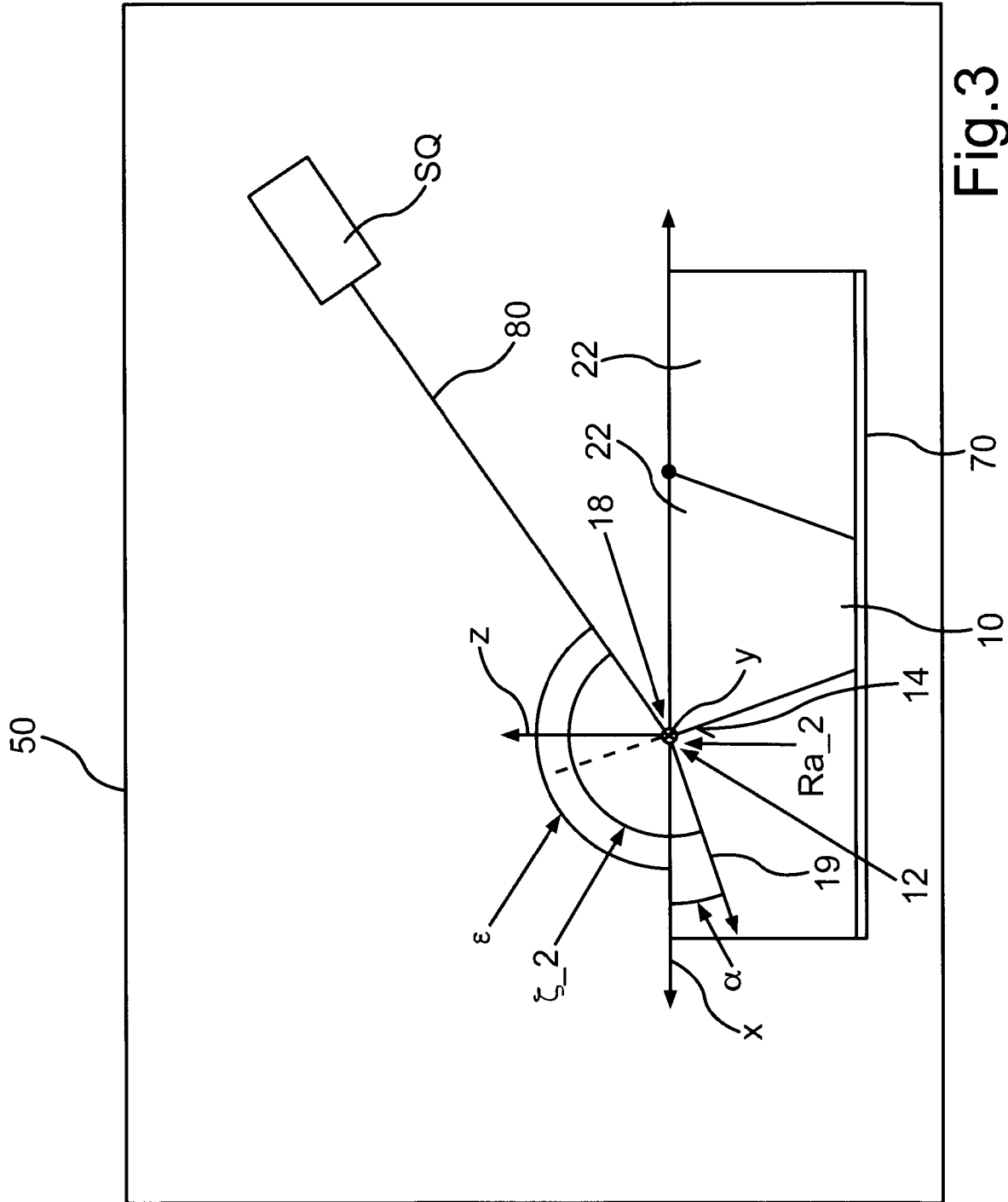


Fig.3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2020/000165

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>B22F 3/105</i> (2006.01)i; <i>B29C 64/153</i> (2017.01)i; <i>B33Y 10/00</i> (2015.01)i; <i>B33Y 30/00</i> (2015.01)i; <i>B33Y 40/20</i> (2020.01)i; <i>B33Y 50/02</i> (2015.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B22F; 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		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 202018000735 U1 (MTU AERO ENGINES AG [DE]) 01 March 2018 (2018-03-01) claims 1-5 paragraphs [0002], [0007], [0013], [0017] - [0019], [0038] - [0040], [0043], [0044], [0047], [0048], [0049] figures 1-6	1-15
A	DE 102015216402 A1 (MTU AERO ENGINES AG [DE]) 02 March 2017 (2017-03-02) paragraphs [0007], [0009], [0013], [0015], [0024]	1-15
A	DE 102016222261 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK GMBH) 17 May 2018 (2018-05-17) paragraphs [0005], [0018], [0019], [0022]	1-15
A	US 2017341183 A1 (BULLER BENYAMIN [US] ET AL) 30 November 2017 (2017-11-30) claims 1-21	1-15
A	DE 102016105097 A1 (CL SCHUTZRECHTSVERWALTUNGS GMBH [DE]) 21 September 2017 (2017-09-21) paragraph [0060] figures 1-5	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 21 September 2020		Date of mailing of the international search report 29 September 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Reich, Claus Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2020/000165

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	202018000735	U1	01 March 2018	NONE	
DE	102015216402	A1	02 March 2017	NONE	
DE	102016222261	A1	17 May 2018	CN 109937102 A	25 June 2019
				DE 102016222261 A1	17 May 2018
				EP 3538293 A1	18 September 2019
				US 2019263065 A1	29 August 2019
				WO 2018086991 A1	17 May 2018
US	2017341183	A1	30 November 2017	EP 3229996 A1	18 October 2017
				US 2017341183 A1	30 November 2017
				US 2017355146 A1	14 December 2017
				US 2017355147 A1	14 December 2017
				WO 2016094827 A1	16 June 2016
DE	102016105097	A1	21 September 2017	CN 107614246 A	19 January 2018
				DE 102016105097 A1	21 September 2017
				EP 3429831 A1	23 January 2019
				JP 6744398 B2	19 August 2020
				JP 2018525250 A	06 September 2018
				US 2019061242 A1	28 February 2019
				WO 2017157648 A1	21 September 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B22F3/105 B33Y50/02	B29C64/153 B33Y10/00
		B33Y30/00 B33Y40/20
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTER GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
B22F 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		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 20 2018 000735 U1 (MTU AERO ENGINES AG [DE]) 1. März 2018 (2018-03-01) Ansprüche 1-5 Absätze [0002], [0007], [0013], [0017] - [0019], [0038] - [0040], [0043], [0044], [0047], [0048], [0049] Abbildungen 1-6	1-15
A	DE 10 2015 216402 A1 (MTU AERO ENGINES AG [DE]) 2. März 2017 (2017-03-02) Absätze [0007], [0009], [0013], [0015], [0024]	1-15
A	DE 10 2016 222261 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK GMBH) 17. Mai 2018 (2018-05-17) Absätze [0005], [0018], [0019], [0022]	1-15
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
21. September 2020		29/09/2020
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Reich, Claus

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2017/341183 A1 (BULLER BENYAMIN [US] ET AL) 30. November 2017 (2017-11-30) Ansprüche 1-21	1-15
A	----- DE 10 2016 105097 A1 (CL SCHUTZRECHTSVERWALTUNGS GMBH [DE]) 21. September 2017 (2017-09-21) Absatz [0060] Abbildungen 1-5 -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2020/000165

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 202018000735 U1	01-03-2018	KEINE	
DE 102015216402 A1	02-03-2017	KEINE	
DE 102016222261 A1	17-05-2018	CN 109937102 A	25-06-2019
		DE 102016222261 A1	17-05-2018
		EP 3538293 A1	18-09-2019
		US 2019263065 A1	29-08-2019
		WO 2018086991 A1	17-05-2018
US 2017341183 A1	30-11-2017	EP 3229996 A1	18-10-2017
		US 2017341183 A1	30-11-2017
		US 2017355146 A1	14-12-2017
		US 2017355147 A1	14-12-2017
		WO 2016094827 A1	16-06-2016
DE 102016105097 A1	21-09-2017	CN 107614246 A	19-01-2018
		DE 102016105097 A1	21-09-2017
		EP 3429831 A1	23-01-2019
		JP 6744398 B2	19-08-2020
		JP 2018525250 A	06-09-2018
		US 2019061242 A1	28-02-2019
		WO 2017157648 A1	21-09-2017