

(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
5. Mai 2011 (05.05.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/050791 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
B22F 3/105 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE2010/001276
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
30. Oktober 2010 (30.10.2010)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2009 051 552.6
31. Oktober 2009 (31.10.2009) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** MTU AERO ENGINES GMBH [DE/DE]; Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** BAYER, Erwin [DE/DE]; Ostenstrasse 36, 85221 Dachau (DE). HILLER, Sven-J. [DE/DE]; Sternstrasse 10, 85244 Röhmoos (DE). DUSEL, Karl-Heinz [DE/DE]; Carl-von-Linde-Strasse 4, 85716 Unterschleißheim (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:**
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING A COMPONENT

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG EINES BAUTEILS

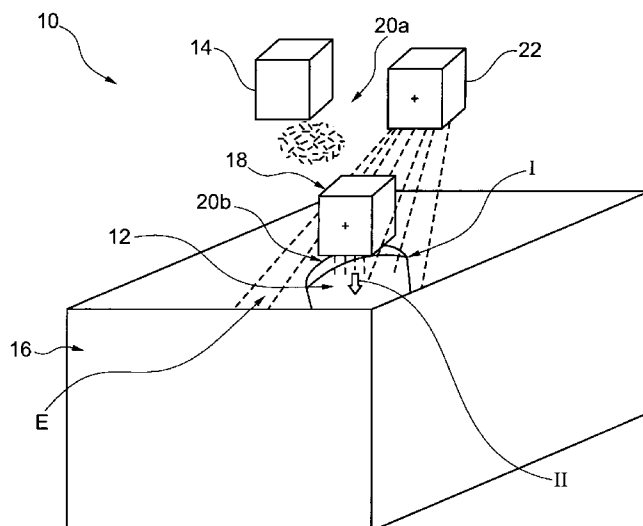


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for producing a component (12), especially a hollow structural part for a turbomachine. The method is characterized by the following steps: a) layer-by-layer deposition of at least one powder component material (20a) onto a component platform in the region of a buildup and joining zone (I), b) deposition of at least one liquid component material (20b) onto the powder component material (20a), the liquid component material (20b) comprising at least one metal-containing compound, c) local layer-by-layer fusion or sintering of the component materials (20a, 20b) by means of thermal and/or electromagnetic energy supplied in the region of the buildup and joining zone (I), d) lowering of the component platform by a predefined layer thickness; and e) repetition of steps a) to d) until the component (12) is finished. The invention further relates to a device (10) for producing a component (12) of a turbomachine, especially a hollow structural part for a turbomachine.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (12), insbesondere eines hohlen Bauteils für

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/050791 A2



eine Strömungsmaschine, bei welchem zumindest die Schritte a) Schichtweises Aufbringen von mindestens einem pulverförmigen Bauteilwerkstoff (20a) auf eine Bauteilplattform im Bereich einer Aufbau- und Fügezone (I), b) Aufbringen von mindestens einem flüssigen Bauteilwerkstoff (20b) auf den pulverförmigen Bauteilwerkstoff (20a), wobei der flüssige Bauteilwerkstoff (20b) zumindest eine metallhaltige Verbindung umfasst, c) schichtweises und lokales Verschmelzen und/oder Versintern der Bauteilwerkstoffe (20a, 20b) mittels zugeführter thermischer und/oder elektromagnetischer Energie (E) im Bereich der Aufbau- und Fügezone (I), d) Absenken der Bauteilplattform um eine vordefinierte Schichtdicke und e) Wiederholen der Schritte a) bis d) bis zur Fertigstellung des Bauteils (12) durchgeführt werden. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung (10) zur Herstellung eines Bauteils (12) einer Strömungsmaschine, insbesondere eines hohlen Bauteils für eine Strömungsmaschine.

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines Bauteils

Beschreibung

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung eines Bauteils, insbesondere eines hohlen Bauteils für eine Strömungsmaschine.

Verfahren und Vorrichtungen zur Herstellung eines Bauteils, insbesondere eines hohlen Bauteils einer Strömungsmaschine, sind in einer großen Vielzahl bekannt. Insbesondere sind generative
10 Fertigungsverfahren bekannt, bei denen das Bauteil schichtweise aufgebaut wird. Beim generativen Herstellen von Bauteilen aus Metall oder einer Metallkeramik entsteht im Rahmen von Rapid-Manufacturing- oder Rapid-Prototyping-Verfahren eine sehr feinkörnige Bauteilstruktur. Beim Rapid-Manufacturing oder Rapid-Prototyping von metallischen Bauteilen oder von Bauteilen mit metallischer Bindung werden dabei mit Hilfe elektromagnetischer Strahlung vorwiegend
15 Schmelz- oder Sinterprozesse erzeugt. Beispielsweise erfolgt die Herstellung durch Lasersintern, Laserpulverauftragsschweißen oder Elektronenstrahl-Auftragsschweißen.

Dreidimensionale Bauteile können auch über einen Druckprozess generativ aus einem Pulverbett durch schichtweises Verkleben erzeugt werden. Zum Verkleben des dabei verwendeten pulverförmigen Bauteilwerkstoffs, welcher keramisches oder metallisches Pulver umfasst, wird hierbei
20 ein organischer Binder über einen Druckkopf auf eine Bauteilplattform aufgebracht. Nach jeder partiell verklebten Lage wird die Bauteilplattform abgesenkt und eine neue Lage des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs gleichmäßig verteilt, glatt gestrichen und mit dem Binder versetzt. Der pulverförmige Bauteilwerkstoff wird anschließend durch die punktuelle Einwirkung elektromagnetischer Strahlung (Laser oder Elektronenstrahlen) lagenweise gesintert bzw. zusammengesmolzen, wobei der Binder aushärtet.

Als nachteilig an den bekannten Verfahren und Vorrichtungen ist jedoch der Umstand anzusehen, dass die hierdurch gefertigten Bauteile aufgrund des organischen Binders eine vergleichs-
30 weise geringe Wärmebeständigkeit und eine geringe mechanische Stabilität besitzen. Dadurch können starken mechanischen und thermischen Belastungen anzusetzende Bauteile wie beispielsweise Strukturbauteile oder Hohlschaufeln für Strömungsmaschinen nicht auf diese Weise hergestellt werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, welche die Herstellung eines Bauteils mit verbesserter thermischer und mechanischer Belastbarkeit ermöglicht.

5 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 12 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens als vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung und umgekehrt anzusehen sind.

10

Erfindungsgemäß werden bei einem Verfahren zur Herstellung eines Bauteils, insbesondere eines hohlen Bauteils für eine Strömungsmaschine, zumindest die Schritte a) schichtweises Aufbringen von mindestens einem pulverförmigen Bauteilwerkstoff auf eine Bauteilplattform im Bereich einer Aufbau- und Fügezone, b) Aufbringen von mindestens einem flüssigen Bauteilwerkstoff auf
15 den pulverförmigen Bauteilwerkstoff, wobei der flüssige Bauteilwerkstoff zumindest eine metallhaltige Verbindung umfasst c) schichtweises und lokales Verschmelzen und/oder Versintern der Bauteilwerkstoffe mittels zugeführter thermischer und/oder elektromagnetischer Energie im Bereich der Aufbau- und Fügezone, d) Absenken der Bauteilplattform um eine vordefinierte Schichtdicke und e) Wiederholen der Schritte a) bis d) bis zur Fertigstellung des Bauteils durch-
20 geführt. Im Unterschied zum Stand der Technik wird somit zusätzlich zum pulverförmigen Bauteilwerkstoff ein flüssiger Bauteilwerkstoff verwendet, welcher eine metallhaltige Verbindung umfasst. Beim Zuführen von thermischer und/oder elektromagnetischer Energie bildet die metallhaltige Verbindung zusätzlich zum Verschmelzen und/oder Versintern des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs Metallbindungen zwischen den Partikeln des pulverförmigen Bauteilwerk-
25 stoffs aus, wodurch ein Bauteil mit einer wesentlich erhöhten thermischen und mechanischen Belastbarkeit erhalten wird. Unter metallhaltigen Verbindungen sind dabei Verbindungen zu verstehen, die unter dem Einfluss der thermischen und/oder elektromagnetischen Energie elementare Metalle auf atomarer Ebene freisetzen können. Hierzu können beispielsweise elementare Metalle selbst, Metallegierungen, intermetallische Legierungen, komplexierte Metalle oder Metallionen,
30 Verbindungen mit kovalent gebundenen und/oder ionischen Metallionen und/oder beliebige geeignete Mischungen hieraus vorgesehen sein. Dabei kann grundsätzlich vorgesehen sein, dass die Energie in Schritt c) entsprechend einer Schichtinformation des herzustellenden Bauteils zugeführt wird, um eine besonders hohe Fertigungsgenauigkeit zu erreichen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass in Schritt a) ein pulverförmiger Bauteilwerkstoff verwendet wird, welcher ein Metall und/oder eine Metalllegierung und/oder eine intermetallische Verbindung und/oder eine Metallkeramik und/oder ein Silikat umfasst. Hierdurch ergibt sich eine hohe konstruktive Freiheit bei der Herstellung des Bauteils. Zudem können die Eigenschaften des Bauteils optimal an dessen jeweiligen Einsatzzweck angepasst werden. Dabei kann vorgesehen sein, dass Verbindungsgemische und/oder unterschiedliche Verbindungen für verschiedene Schichten des Bauteils verwendet werden. Es können durch das metallische Verbinden auf atomarer Ebene zudem neue Legierungen aus entsprechend zusammengesetzten pulverförmigen Bauteilwerkstoffen erzeugt werden. So können beispielsweise Metallpulver mit oxidischen Beimengungen und/oder keramische Pulver miteinander vermischt und als pulverförmiger Bauteilwerkstoff verwendet werden. Die vom flüssigen Bauteilwerkstoff unter dem Einfluss der zugeführten Energie freigesetzten Metallatome können in Abhängigkeit der jeweilig verwendeten pulverförmigen und flüssigen Bauteilwerkstoffe in-situ bzw. in statu nascendi weiterreagieren und zur gezielten Bildung von Legierungen, Mischkristallen und dergleichen genutzt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung hat es sich als vorteilhaft gezeigt, wenn eine Pulvergröße und/oder eine Pulvermenge des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs und/oder ein Volumen des flüssigen Bauteilwerkstoffs in Abhängigkeit einer zu erzielenden Schichtdicke gewählt werden. Hierdurch kann das Aufwachsen der einzelnen Bauteilschichten präzise gesteuert werden. Zudem kann das Eigenschaftsprofil des Bauteils gezielt und optimal an seinen jeweiligen Einsatzzweck angepasst werden. Bei der Ermittlung des erforderlichen Volumens wird vorzugsweise die Konzentration der metallischen Verbindung im flüssigen Bauteilwerkstoff berücksichtigt.

Dabei hat es sich in weiterer Ausgestaltung als vorteilhaft gezeigt, wenn in Schritt b) ein flüssiger Bauteilwerkstoff verwendet wird, welcher eine metallorganische Verbindung und/oder ein Metallsalz und/oder Nanopartikel und/oder ein Lösungsmittel und/oder ein Suspendierungsmittel umfasst. Bei der Verwendung einer metallorganischen Verbindungen kann der organische Rest durch das lagenweise Zuführen der thermischen und/oder elektromagnetischer Energie abgespalten werden, so dass sich an der Stelle, an welcher der pulverförmige Bauteilwerkstoff mit der Flüssigkeit benetzt wurde, eine metallische Bindung ergibt. Geeignet zur metallischen Bindung sind beispielsweise Edelmetalle, die auch als metallorganische Verbindungen im flüssigen Bau-

teilwerkstoff vorgesehen sein können. Nanopartikel bieten den Vorteil, dass ihre Schmelz- bzw. Sintertemperatur deutlich unterhalb derjenigen des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs liegt und somit eine besonders zuverlässige Bindungsbildung sichergestellt ist. Um die Viskosität und Benetzungseigenschaft des flüssigen Bauteilwerkstoffs optimal einstellen zu können, hat sich die
5 Verwendung eines Lösungs- und/oder Suspendierungsmittels als vorteilhaft gezeigt.

Weitere Vorteile ergeben sich, indem in Schritt b) ein flüssiger Bauteilwerkstoff verwendet wird, dessen Zersetzungs- und/oder Abspaltungs- und/oder Sinter- und/oder Schmelztemperatur unterhalb der Schmelztemperatur des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs liegt. Hierdurch wird eine be-
10 sonders zuverlässige Bindung der Pulverpartikel erreicht, da sichergestellt ist, dass die metallhaltige Verbindung des flüssigen Bauteilwerkstoffs zwischen den Partikel den pulverförmigen Bauteilwerkstoffs freigesetzt wird bevor der pulverförmige Bauteilwerkstoff aufschmilzt, konglomeriert und/oder versintert.

15 Indem der pulverförmige und/oder der flüssige Bauteilwerkstoff mittels eines Druckkopfs, insbesondere eines Mehrfachdruckkopfs, aufgebracht wird, kann der betreffende Bauteilwerkstoff optimal dosiert und besonders schnell aufgebracht werden. Bei Verwendung eines Mehrfachdruckkopfs kann die Auftragsgeschwindigkeit zusätzlich gesteigert werden, wobei weiterhin die Möglichkeit gegeben ist, unterschiedliche Bauteilwerkstoffe gleichzeitig bzw. mit einer definierten
20 räumlichen Verteilung aufzubringen.

Weitere Vorteile ergeben sich, wenn vor Schritt d) zumindest die Schritte a) und b) und gegebenenfalls c) gleichzeitig und/oder in umgekehrter Reihenfolge und/oder mehrfach durchgeführt werden. Hierdurch kann das Verfahren besonders variabel durchgeführt werden, so dass eine optimale Anpassbarkeit an unterschiedliche Bauteilwerkstoffe gegeben ist und gezielte Schichteigenschaften des Bauteils besonders einfach darstellbar sind.
25

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Energie in Schritt c) mittels einer Lampe, insbesondere einer IR-Lampe und/oder einer Blitzlampe und/oder
30 einer Hochenergielampe, und/oder eines Lasers, insbesondere eines CO₂- oder Nd:YAG-Lasers, und/oder einer Mikrowelleneinrichtung zugeführt wird. Durch den Einsatz starker Strahlungsquellen kann dabei jede Bauteilschicht flächig metallisiert und abgebunden werden, wodurch sich entsprechende Geschwindigkeitsvorteile ergeben. Zudem können überschüssige flüssige Be-

standteile des Bauteilwerkstoffs durch Verdampfen aus der Schicht entfernt werden. Bei der Verwendung metallorganischer Verbindungen kann beispielsweise der organische Rest einfach abgespalten und ausgetrieben werden.

5 Indem das Verfahren ein Rapid-Prototyping- und/oder Rapid-Manufacturing-Verfahren, insbesondere ein Laserauftragsschweißen oder ein Elektronenstrahl-Pulverauftragsschweißen, umfasst, können auch geometrisch anspruchsvolle Bauteile besonders schnell und kostengünstig hergestellt werden, wodurch erheblich reduzierte Entwicklungs- und Herstellungskosten ermöglicht sind.

10

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Form und/oder der Materialaufbau des Bauteils als computergeneriertes Modell bestimmt wird und daraus generierte Schichtinformationen zum Steuern und/oder Regeln wenigstens eines der Schritte a) bis e) verwendet wird. Damit sind automatisierte und computergesteuerte Herstellungsabläufe möglich.

15

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass als Bauteil eine Hohlschaufel für eine Turbine oder für einen Verdichter einer thermischen Gasturbine hergestellt wird. Insbesondere bei der Herstellung von derartigen feinststrukturierten Bauteilen – beispielsweise hohlen Strukturbauteilen oder Rotorschaufeln einer Turbine oder eines Verdichters einer Strömungsmaschine – kommen die verschiedenen Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens im Hinblick auf Geschwindigkeit, Kosten und Qualität des fertigen Bauteils besonders zum Tragen.

20

25 Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Herstellung eines Bauteils einer Strömungsmaschine, insbesondere eines hohlen Bauteils für eine Strömungsmaschine, wobei die Herstellung eines Bauteils mit verbesserter thermischer und mechanischer Belastbarkeit erfindungsgemäß dadurch ermöglicht ist, dass die Vorrichtung mindestens eine Pulverzuführung zum Aufbringen von mindestens einem pulverförmigen Bauteilwerkstoff auf eine Bauteilplattform im Bereich einer Aufbau- und Fügezone, mindestens eine Flüssigkeitszuführung zum Aufbringen eines flüssigen Bauteilwerkstoffs, welcher zumindest eine metallhaltige Verbindung umfasst, auf die Bauteilplattform im Bereich der Aufbau- und Fügezone und mindestens eine Energiequelle zum schichtweisen und lokalen Verschmelzen und/oder Versintern der Bauteilwerkstoffe mittels

30

zugeführter thermischer und/oder elektromagnetischer Energie im Bereich der Aufbau- und Fügezone umfasst. Im Unterschied zum Stand der Technik wird somit zusätzlich zum pulverförmigen Bauteilwerkstoff ein flüssiger Bauteilwerkstoff verwendet, welcher eine metallhaltige Verbindung umfasst. Beim Zuführen von thermischer und/oder elektromagnetischer Energie mit Hilfe der Energiequelle kann die metallhaltige Verbindung zusätzlich zum Verschmelzen und/oder Versintern des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs Metallbindungen zwischen den Partikeln des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs ausbilden, wodurch ein Bauteil mit einer wesentlich erhöhten thermischen und mechanischen Belastbarkeit hergestellt werden kann. Unter metallhaltigen Verbindungen sind dabei Verbindungen zu verstehen, die unter dem Einfluss der thermischen und/oder elektromagnetischen Energie elementare Metallatome freisetzen können. Hierzu können beispielsweise elementare Metalle, Metalllegierungen, intermetallische Legierungen, komplexierte Metalle oder Metallionen, Verbindungen mit kovalent gebundenen und/oder ionischen Metallionen und/oder beliebige geeignete Mischungen hieraus vorgesehen sein. Dabei kann vorgesehen sein, dass die Pulver- und die Flüssigkeitszuführung in einem Bauelement der Vorrichtung integriert sind. Ebenso kann vorgesehen sein, dass die Vorrichtung wenigstens einen mit der Pulver- und/oder der Flüssigkeitszuführung gekoppelten Speicherbehälter umfasst, in welchem zumindest einer der Bauteilwerkstoffe aufgenommen ist. Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die Vorrichtung zur Durchführung eines generativen Fertigungsverfahrens, wie zum Beispiel eines Rapid-Prototyping- oder Rapid-Manufacturing-Verfahrens, insbesondere eines Laserauftragsschweißens oder eines Elektronenstrahl-(EB-)Pulverauftragsschweißens ausgerichtet ist. Weitere Vorteile sind den vorhergehenden Beschreibungen zu entnehmen, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens als vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung und umgekehrt anzusehen sind.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Energiequelle eine Lampe und/oder ein Laser und/oder eine Elektronenstrahlvorrichtung und/oder eine Mikrowelleneinrichtung ist. Durch den Einsatz starker Strahlungsquellen kann dabei jede Bauteilschicht flächig metallisiert und abgebunden werden, wodurch sich entsprechende Geschwindigkeitsvorteile ergeben. Zudem können überschüssige flüssige Bestandteile des Bauteilwerkstoffs durch Verdampfen aus der Schicht entfernt werden. Bei der Verwendung metallorganischer Verbindungen kann zudem der organische Rest einfach abgespalten und ausgetrieben werden.

Eine besonders einfaches, präzises und schnelles Aufbringen des flüssigen Bauteilwerkstoffs ist in weiterer Ausgestaltung dadurch ermöglicht, dass die Flüssigkeitszuführung einen Druckkopf zum Aufbringen des flüssigen Bauteilwerkstoffs umfasst. Bei Verwendung eines Mehrfachdruckkopfs kann die Auftragsgeschwindigkeit zusätzlich gesteigert werden, wobei weiterhin die Möglichkeit gegeben ist, unterschiedliche Bauteilwerkstoffe gleichzeitig bzw. mit einer definierten räumlichen Verteilung aufzubringen.

Eine besonders gleichmäßige Verteilung des flüssigen Bauteilwerkstoffs wird in weiterer Ausgestaltung dadurch erzielt, dass die Flüssigkeitszuführung wenigstens eine Düse umfasst, durch welche der flüssige Bauteilwerkstoff auf die Bauteilplattform aufzubringen ist. Insbesondere in Kombination mit der vorstehend genannten Druckkopftechnologie können auch mehrere Düsen vorgesehen sein. Hierdurch kann der Bauteilwerkstoff gleichzeitig an mehreren Stellen aufgebracht werden. Alternativ oder zusätzlich können auch unterschiedliche Bauteilwerkstoffe gleichzeitig an mehreren Stellen aufgebracht werden.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, dem Ausführungsbeispiel sowie anhand der Zeichnung. Die vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalskombinationen sowie die nachfolgend im Ausführungsbeispiel genannten Merkmale und Merkmalskombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Dabei zeigt die einzige Figur eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Herstellung eines Bauteils einer Strömungsmaschine.

Die einzige Figur zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung 10 zur Herstellung eines Bauteils 12 einer Strömungsmaschine. Bei dem Bauteil 12 handelt es sich in dem dargestellten Ausführungsbeispiel um eine Schaufel einer Hochdruckturbine. Die Vorrichtung 10 dient zum generativen Erzeugen des Bauteils 10 und umfasst eine Pulverzuführung 14 zum Aufbringen von mindestens einem pulverförmigen Bauteilwerkstoff 20a auf eine in einem Pulverbehälter 16 beweglich angeordnete Bauteilplattform (nicht erkennbar) im Bereich einer Aufbau- und Fügezone I. Der pulverförmige Bauteilwerkstoff 20a umfasst dabei eine metallische, keramische und/oder intermetallische Verbindung. Weiterhin weist die Vorrichtung 10 eine Flüssigkeitszuführung 18 zum Aufbringen eines flüssigen Bauteilwerkstoffs 20b auf die Bauteilplattform im Bereich der Aufbau- und Fügezone I auf, wobei der flüssige Bauteilwerkstoff 20b zumindest eine metallhal-

tige Verbindung umfasst. Die Flüssigkeitszuführung 18 ist dabei als Druckkopf ausgebildet und bringt den flüssigen Bauteilwerkstoff 20b über mehrere Düsen (nicht erkennbar) auf den pulverförmigen Bauteilwerkstoff 20a bzw. auf die Aufbau- und Fügezone I auf. Dabei kann auch vorgesehen sein, dass die Pulverzuführung 14 und die Flüssigkeitszuführung 18 in einem gemeinsamen Bauelement der Vorrichtung 10 integriert sind.

Zum schichtweisen und lokalen Verschmelzen und/oder Versintern der Bauteilwerkstoffe 20a, 20b ist eine Energiequelle 22 vorgesehen, mittels welcher dem Bauteil 12 im Bereich der Aufbau- und Fügezone I thermische und/oder elektromagnetische Energie E zugeführt wird. Die Energiequelle 22 kann beispielsweise als Mikrowellenquelle, Blitzlampe, IR-Lampe und/oder Hochenergielampe ausgebildet sein.

Die Vorrichtung 10 kann des Weiteren mit einer Regel- und/oder Steuereinrichtung gekoppelt sein, um eine automatisierte Verfahrensdurchführung zu ermöglichen. Hierbei wird zunächst die gewünschte Form und/oder der gewünschte Materialaufbau des Bauteils 12 als computergeneriertes Modell bestimmt und daraus generierte Schichtinformationen zum Steuern und/oder Regeln der Vorrichtung 10 verwendet.

Die Fertigung des Bauteils 12 wird im Folgenden beispielhaft beschrieben:

In einem ersten Schritt a) wird der pulverförmige Bauteilwerkstoff 20 mit Hilfe der Pulverzuführung 14 schichtweise auf die Bauteilplattform im Bereich der Aufbau- und Fügezone I aufgebracht. Über Parameter wie etwa die Pulvergröße und Pulvermenge lässt sich das Aufwachsen der einzelnen Bauteilschichten steuern. Anschließend und/oder gleichzeitig wird im Schritt b) der flüssige Bauteilwerkstoff 20b mit Hilfe der Flüssigkeitszuführung 18 aufgebracht. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird als flüssiger Bauteilwerkstoff 20b eine in einem Lösungsmittel aufgenommene metallorganische Verbindung verwendet. Alternativ oder zusätzlich kann beispielsweise auch eine Suspension aus einem flüssigen Suspendierungsmittel und Nanopartikel verwendet werden. Die Verwendung von Nanopartikeln bietet den Vorteil, dass deren Sinteremperatur deutlich gegenüber derjenigen des Festkörpers bzw. pulverförmigen Bauteilwerkstoffs 20a absinkt.

Daraufhin werden die Bauteilwerkstoffe 20a, 20b in Schritt c) schichtweise und lokal verschmolzen bzw. versintert. Zu diesem Zweck wird dem Bauteil 12 mit Hilfe der Energiequelle 22 thermische und/oder elektromagnetische Energie E im Bereich der Aufbau- und Fügezone I zugeführt. Hierdurch wird aus dem flüssigen Bauteilwerkstoff 20b das Metall freigesetzt, welches
5 sich mit dem umgebenden Pulver auf atomarer Ebene verbindet. Dies führt zu einem Vernetzen des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs 20a mit dem aus der metallorganischen Verbindung des flüssigen Bauteilwerkstoffs 20b freigesetzten Metall. Der abgespaltene organische Rest sowie das Lösungs- bzw. Suspendierungsmittel werden durch die zugeführte Energie E angetrieben. Bei einer Verwendung von elementaren Metallen, Metalllegierungen oder Nanopartikeln wird
10 demgegenüber durch die Energieeinwirkung lediglich das Lösungs- bzw. Suspendierungsmittel angetrieben, wobei das freigesetzte Metall bzw. die freigesetzte Legierung mit dem pulverförmigen Bauteilwerkstoff 20a verschmolzen bzw. versintert wird.

Nach diesem Schritt wird die Bauteilplattform in einem folgenden Schritt d) gemäß Pfeil II um
15 eine vordefinierte Schichtdicke abgesenkt, wonach in Schritt e) die vorhergehenden Schritte a) bis d) bis zur Fertigstellung des Bauteils 12 wiederholt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils (12), insbesondere eines hohlen Bauteils für eine Strömungsmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest folgende Schritte durchgeführt werden:
- 5
- a) Schichtweises Aufbringen von mindestens einem pulverförmigen Bauteilwerkstoff (20a) auf eine Bauteilplattform im Bereich einer Aufbau- und Fügezone (I);
- b) Aufbringen von mindestens einem flüssigen Bauteilwerkstoff (20b) auf den pulverförmigen Bauteilwerkstoff (20a), wobei der flüssige Bauteilwerkstoff (20b) zumindest eine metallhaltige Verbindung umfasst;
- 10
- c) schichtweises und lokales Verschmelzen und/oder Versintern der Bauteilwerkstoffe (20a, 20b) mittels zugeführter thermischer und/oder elektromagnetischer Energie (E) im Bereich der Aufbau- und Fügezone (I);
- 15
- d) Absenken der Bauteilplattform um eine vordefinierte Schichtdicke; und
- e) Wiederholen der Schritte a) bis d) bis zur Fertigstellung des Bauteils (12).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt a) ein pulverförmiger Bauteilwerkstoff (20a) verwendet wird, welcher ein Metall und/oder eine Metallegierung und/oder eine intermetallische Verbindung und/oder eine Metallkeramik und/oder ein Silikat umfasst.
- 20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Pulvergröße und/oder eine Pulvermenge des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs (20a) und/oder ein Volumen des flüssigen Bauteilwerkstoffs (20b) in Abhängigkeit einer zu erzielenden Schichtdicke gewählt werden.
- 25
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) ein flüssiger Bauteilwerkstoff (20b) verwendet wird, welcher eine metallorganische Verbindung und/oder ein Metallsalz und/oder Nanopartikel und/oder ein Lösungsmittel und/oder ein Suspendierungsmittel umfasst.
- 30

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) ein flüssiger Bauteilwerkstoff (20b) verwendet wird, dessen Zersetzungs- und/oder Abspaltungs- und/oder Sinter- und/oder Schmelztemperatur unterhalb der Schmelztemperatur des pulverförmigen Bauteilwerkstoffs (20a) liegt.
- 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der pulverförmige und/oder der flüssige Bauteilwerkstoff (20a, 20b) mittels eines Druckkopfs, insbesondere eines Mehrfachdruckkopfs, aufgebracht wird.
- 10
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass vor Schritt d) zumindest die Schritte a) und b) und gegebenenfalls c) gleichzeitig und/oder in umgekehrter Reihenfolge und/oder mehrfach durchgeführt werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Energie (E) in Schritt c) mittels einer Lampe, insbesondere einer IR-Lampe und/oder einer Blitzlampe und/oder einer Hochenergielampe, und/oder eines Lasers, insbesondere eines CO₂- oder Nd:YAG-Lasers, und/oder einer Mikrowelleneinrichtung zugeführt wird.
- 15
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ein Rapid-Prototyping- und/oder Rapid-Manufacturing-Verfahren, insbesondere ein Laserauftragsschweißen oder ein Elektronenstrahl-Pulverauftragsschweißen, umfasst.
- 20
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Form und/oder der Materialaufbau des Bauteils (12) als computergeneriertes Modell bestimmt wird und daraus generierte Schichtinformationen zum Steuern und/oder Regeln wenigstens eines der Schritte a) bis e) verwendet wird.
- 25
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass als Bauteil (12) eine Hohlschaufel für eine Turbine oder für einen Verdichter einer thermischen Gasturbine hergestellt wird.
- 30
12. Vorrichtung (10) zur Herstellung eines Bauteils (12) einer Strömungsmaschine, insbesondere eines hohlen Bauteils für eine Strömungsmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass

die Vorrichtung mindestens eine Pulverzuführung (14) zum Aufbringen von mindestens einem pulverförmigen Bauteilwerkstoff (20a) auf eine Bauteilplattform im Bereich einer Aufbau- und Fügezone (I), mindestens eine Flüssigkeitszuführung (18) zum Aufbringen eines flüssigen Bauteilwerkstoffs (20b), welcher zumindest eine metallhaltige Verbindung umfasst, auf die Bauteilplattform im Bereich der Aufbau- und Fügezone (I) und mindestens eine Energiequelle (22) zum schichtweisen und lokalen Verschmelzen und/oder Versintern der Bauteilwerkstoffe (20a, 20b) mittels zugeführter thermischer und/oder elektromagnetischer Energie (E) im Bereich der Aufbau- und Fügezone (I) umfasst.

10

13. Vorrichtung (10) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Energiequelle (22) eine Lampe und/oder ein Laser und/oder eine Elektronenstrahlvorrichtung und/oder eine Mikrowelleneinrichtung ist.

15

14. Vorrichtung (10) nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeitszuführung (18) einen Druckkopf zum Aufbringen des flüssigen Bauteilwerkstoffs (20b) umfasst.

20

15. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeitszuführung (18) wenigstens eine Düse umfasst, durch welche der flüssige Bauteilwerkstoff (20b) auf die Bauteilplattform aufzubringen ist.

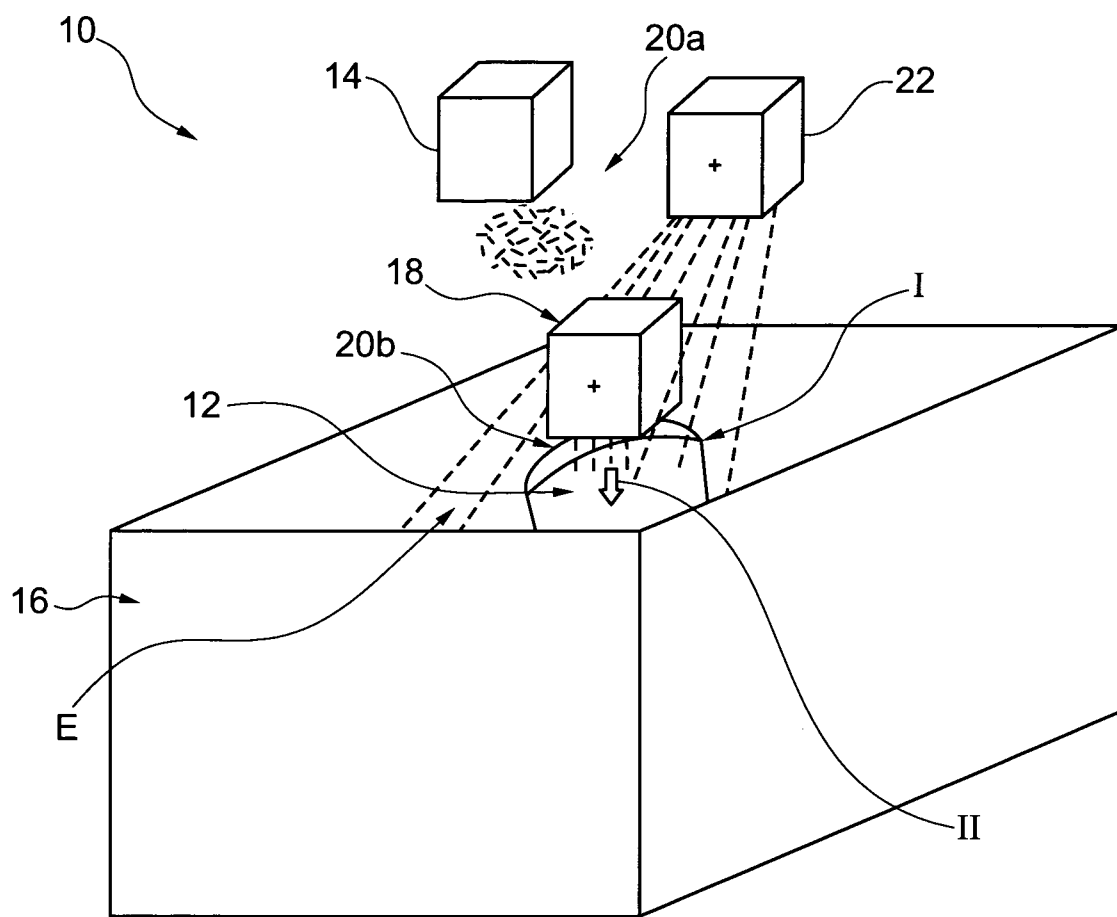


Fig. 1