

(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
29. September 2016 (29.09.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/150720 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B22F 1/02 (2006.01) B22F 5/04 (2006.01)
B22F 3/105 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/055146

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. März 2016 (10.03.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 205 316.4 24. März 2015 (24.03.2015) DE

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: HEINRICHS DORFF, Frank; Wilhelm-Busch-
Straße 14, 14513 Teltow (DE). REICHE, Ralph;
Bulgenbachweg 15, 13465 Berlin (DE). REZNIK, Daniel;
Borgfelder Steig 8, 13503 Berlin (DE). STIER, Oliver;
Zimmermannstraße 29, 12163 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

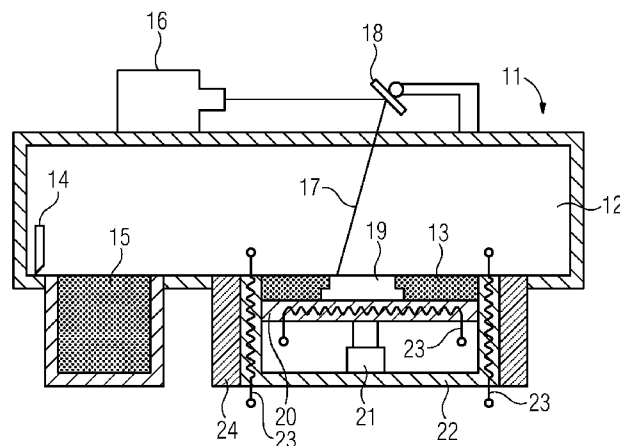
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A COMPONENT FROM A SUPERALLOY BY WAY OF A POWDER-BED-BASED
ADDITIVE PRODUCTION METHOD AND COMPONENT MADE FROM A SUPERALLOY

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM ERZEUGEN EINES BAUTEILES AUS EINER SUPERLEGIERUNG MIT EINEM
PULVERBETTBASIERTEN ADDITIVEN HERSTELLUNGSVERFAHREN UND BAUTEIL AUS EINER SUPERLEGIERUNG

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a component by means for example of laser melting. Here, the component (19) is produced in a powder bed (13), wherein the powder is melted by a laser beam (17). If the component (19) is intended to be produced for example from a nickel-based superalloy, the microstructure with γ' -precipitates that is typical for this alloy can only be created when, according to the invention, the cooling rate of the solidifying and cooling material (shortly after the melt pool created by the laser beam (17)) is kept at less than 1°C per second. To this end, the invention provides for the powder bed to be preheated by means of heating devices (23). Preheating the powder into temperature ranges of about 1000°C is possible according to the invention only in that the powder made from the nickel-based superalloy is coated with a thin layer made for example from aluminium oxide. As a result, caking of those particles in the powder bed which are not involved in the formation of the component (19) is prevented. Therefore, after a production process has been completed, the powder can advantageously be easily removed and used multiple times.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2016/150720 A1

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **Veröffentlicht:**CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, — *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
TG).

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen eines Bauteiles mittels beispielsweise Laserschmelzen. Hierbei wird in einem Pulverbett (13) das Bauteil (19) hergestellt, wobei das Pulver durch einen Laserstrahl (17) aufgeschmolzen wird. Soll das Bauteil (19) beispielsweise aus einer Nickel-Basis- Superlegierung hergestellt werden, so lässt sich das für diese Legierung typische Gefüge mit γ '-Ausscheidungen nur erzeugen, wenn erfindungsgemäß die Abkühlrate des erstarrenden und abkühlenden Werkstoffes (kurz hinter dem durch den Laserstrahl (17) erzeugten Schmelzbades) bei weniger als 1 °C pro Sekunde gehalten wird. Hierzu ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Pulverbett mittels Heizeinrichtungen (23) vorgewärmt wird. Eine Vorwärmung des Pulvers bis in Temperaturbereiche von ca. 1000 °C ist erfindungsgemäß nur möglich, in dem das Pulver aus der Nickel-Basis-Superlegierung mit einer dünnen Schicht aus beispielsweise Aluminiumoxid überzogen wird. Hierdurch wird ein Verbacken der Partikel im Pulverbett verhindert, welche nicht an der Ausbildung des Bauteiles (19) beteiligt sind. Das Pulver kann daher nach erfolgtem Herstellungsprozess vorteilhaft leicht entfernt und mehrfach verwendet werden.

Beschreibung

Verfahren zum Erzeugen eines Bauteiles aus einer Superlegierung mit einem pulverbettbasierten additiven Herstellungsverfahren und Bauteil aus einer Superlegierung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen eines Bauteiles aus einer Superlegierung mit einem pulverbettbasierten additiven Herstellungsverfahren. Bei diesem Verfahren wird das Bauteil lagenweise in einem Pulverbett durch Aufschmelzen von das Pulverbett bildenden Partikeln mit einem Energiestrahl wie z. B. einem Elektronenstrahl oder einem Laserstrahl aufgebaut. Hierbei wird das Pulverbett auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur der Partikel vorgewärmt, bevor und während die Partikel aufgeschmolzen werden. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Bauteil aus einer Superlegierung, welches beispielsweise nach dem genannten Verfahren hergestellt worden sein kann.

Ein Verfahren der eingangs angegebenen Art ist beispielsweise aus der EP 1 355 760 B1 bekannt. Das Verfahren zum selektiven Laserschmelzen, das in diesem Dokument diskutiert wird, soll dazu geeignet sein, hochschmelzende Werkstoffe zu verarbeiten. Da ein Interesse daran besteht, auch aus hochschmelzenden Werkstoffen Bauteile herzustellen, die ein geringes Maß an Eigenspannungen aufweisen, wird gemäß diesem Dokument vorgeschlagen, dass eine Vorheizung des Werkstoffpulvers auf eine Temperatur von mindestens 500°C einem Aufschmelzen des Pulvers vorgelagert wird. Diese Temperatur muss jedoch noch eindeutig unter dem Schmelzpunkt des Materials des Pulvers liegen.

Weiterhin besteht gemäß Y.-C. Hagedorn et al „Processing of Nickel based super alloy MAR M-247 by means of High Temperature-Selective Laser Melting (HT-SLM)“ High Value Manufacturing, Seiten 291 bis 295, London 2014, der Wunsch, auch Materialien aus Superlegierungen als Pulver mittels des selekti-

ven Laserschmelzens zu verarbeiten. Hierbei tritt jedoch das Problem auf, dass die hergestellten Produkte hohen Eigenspannungen unterworfen sind, und aufgrund dieser Tatsache Risse auftreten können. Die Autoren schlagen daher eine intensivere Vorwärmung des Pulvers vor.

Andererseits ist es bekannt, das Pulver, die stark vorgeheizt werden, nach dem Mechanismus des Sinterns miteinander verbacken. Beim selektiven Laserschmelzen ergibt sich daraus das Problem, dass das Pulverbett sich verfestigt und außerdem mit der Oberfläche des hergestellten Bauteiles verbacken kann. Eine saubere Herauslösung des hergestellten Bauteiles aus dem Pulverbett ist dann nicht mehr möglich. Außerdem lässt sich das Pulver nicht wieder verwenden, wenn die Partikel miteinander verbacken. Dies verteuert das Verfahren, da regelmäßig Rohmaterial verworfen werden muss. Das Verbacken des Pulverbettes kann zusätzlich dazu führen, dass die Oberfläche des Pulverbettes nicht eben bleibt. Der Auftrag erneuter Pulverschichten wird damit erschwert und es können geometrische Fehler in der Oberfläche des Pulverbettes auftreten. Hierdurch wird die Qualität der herzustellenden Bauteile beeinträchtigt.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zum Erzeugen eines Bauteiles aus einer Superlegierung mit einem pulverbettbasierten additiven Herstellungsverfahren anzugeben, mit dem sich Bauteile aus Superlegierungen herstellen lassen, die den an die Bauteile gestellten Anforderungen genügen. Außerdem ist es Aufgabe der Erfindung, ein solches Bauteil anzugeben, welches sich kostengünstig mit hoher Zuverlässigkeit herstellen lässt.

Diese Aufgabe wird mit dem eingangs angegebenen Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein Pulver verwendet wird, dessen Partikel mit einer keramischen Schicht umhüllt sind. Die Beschichtung der Partikel hat den Vorteil, dass diese auf eine höhere Temperatur vorgewärmt werden können, ohne an be-

nachbarten Partikeln anzubacken. Dies wird dadurch erklärt, dass sich keramische Materialien bis zu höheren Temperaturen erwärmen lassen, ohne dass ein Zusammenbacken der Partikel erfolgt. Die erfindungsgemäße Verwendung eines Pulvers, welches lediglich mit einer keramischen Schicht umhüllt ist, hat also den Vorteil, dass der Kern der Partikel die Werkstoffeigenschaften aufweist, die aufgrund der Materialauswahl gefordert werden. Die keramische Schicht wirkt sozusagen als Maskierung dieser Teilchen, die sich hinsichtlich der Fragestellung eines Anbackens durch Pulvervorwärmung verhalten, wie keramische Partikel. Zwar können Bestandteile der auf den Partikeln befindlichen Schicht in das sich ausbildende Bauteil eingebaut werden, jedoch ist dieser Anteil außerordentlich gering, da es sich bei der Schicht auf den Partikeln um eine sehr dünne Schicht handelt. Die Schicht kann beispielsweise eine Dicke von mindestens 1 nm und höchstens 20 nm aufweisen. Dies genügt vorteilhaft bereits, damit ein Anbacken an benachbarten Partikeln wirksam unterbunden wird. Bei vorteilhaft gewählten Partikelgrößen von mindestens 10 µm und höchstens 50 µm, bevorzugt einer mittleren Partikelgröße von 25 µm bis 30 µm ist dann sichergestellt, dass der Anteil an der Keramik in Bezug auf das gesamte Partikelmaterial sehr gering ausfällt. Nimmt man beispielsweise Partikel mit einem Durchmesser von 30 µm an, die mit einer Beschichtung von 3 nm versehen sind, so liegt der Volumenanteil der Keramik lediglich bei 0,06 % ($3 \times 3 \text{ nm} / 15 \text{ µm}$). Damit können die Verunreinigungen in der Legierung, die sich beim Aufschmelzen des Pulvers dadurch ergeben, dass das Material der Umhüllung in das Bauteil eingebaut wird, auf ein Minimum beschränkt werden. Im Übrigen hat es sich gezeigt, dass die sehr dünne Keramiksicht von dem Pulver abplatzt, wenn dieses bis zum Aufschmelzen erhitzt wird. Dies liegt daran, dass sich die metallische Legierung, die den Kern der Partikel bildet, bei der Erwärmung stärker ausdehnt, als die keramischen Schichten. Vorteilhaft ist, dass die keramischen Schichten ein Anbacken benachbarter Partikel auch dann verhindern, wenn diese sich aufgrund der Erwärmung der Partikel von dem Kern der

Partikel ablöst. In den Bereichen, in denen die Partikel sich berühren, verbleiben die Schichtreste auch nach einem Lösen von der Kernoberfläche zwischen den jeweiligen Partikeln und verhindern so das Anbacken.

5

Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Keramik Metalle enthält, die auch einen Legierungsbestandteil der Superlegierung darstellt. Diese Metalle stören die Legierungszusammensetzung vorteilhaft viel
10 weniger als legierungsfremde Metalle, da diese lediglich die Legierungsanteile in der Legierung des hergestellten Bauteiles unwesentlich verschieben. Artfremde Legierungsbestandteile können demgegenüber einen stärkeren Anteil daran haben, dass sich das Eigenschaftsprofil des Materials des Bauteiles
15 ändert.

Besonders vorteilhaft kann vorgesehen werden, dass der Legierungsgehalt desjenigen Legierungsbestandteiles der Superlegierung im Kern der Partikel, der wie erwähnt auch in der Keramik enthalten ist, im Vergleich zur Soll-
20 Legierungszusammensetzung der Superlegierung vermindert ist. Die Verminderung erfolgt erfindungsgemäß in einem Maße, dass dieser Legierungsbestandteil bezogen auf das gesamte Partikel (inklusive der Schicht) den Legierungsgehalt der Soll-
25 Legierungszusammensetzung der Superlegierung erreicht oder übertrifft. Mit anderen Worten wird hier ein Ausgleich einer möglichen Veränderung der Legierungszusammensetzung dadurch entgegengewirkt, dass dieser bei der Herstellung des Bauteiles bereits berücksichtigt wird.

30

Das Material der Schicht wird beim Aufschmelzen der Partikel dann in das Material des sich ausbildenden Bauteiles aufgenommen und ersetzt dort den fehlenden Legierungsanteil in den Partikeln, der unter Berücksichtigung dieses Effektes bewusst
35 weggelassen wurde. Voraussetzung für diese Maßnahme ist ein genügendes Diffusionsvermögen des betreffenden Legierungsbestandteiles, wobei dieses Diffusionsvermögen durch die auf

Grund der Vorwärmung verringerte Abkühlgeschwindigkeit des Bauteiles vorgegeben ist.

Eine andere Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Keramik oxidisch oder nitridisch ist. Sauerstoff und Stickstoff als Legierungsbestandteil in Superlegierungen können vorteilhaft bis zu einem gewissen Maß hingenommen werden, ohne dass die Legierung ihr Eigenschaftsprofil in zu starkem Maße ändert.

Vorteilhaft wird als Superlegierung eine Nickel-Basis-Superlegierung verwendet. Aus diesen Superlegierungen können beispielsweise die Schaufeln von Gasturbinen hergestellt werden. Das Pulver wird bei diesem Werkstoff vorteilhaft auf eine Temperatur von mindestens 800 °C und höchstens 1000 °C vorgewärmt. Außerdem wird mittels der Vorrichtung, die die Wärme zum Zwecke der Vorwärmung in das Pulverbett einträgt, sichergestellt, dass die Abkühlung nach der Herstellung des Bauteiles mit einer Geschwindigkeit von höchstens 1 °C pro Sekunde abgekühlt wird. Vorteilhaft lässt sich damit erreichen, dass sich in dem Bauteil aus der Nickel-Basis-Superlegierung γ' -Ausscheidungen von intermetallischen Phasen ausbilden können, die das typische Gefüge der Nickel-Basis-Superlegierung charakterisieren. Für die Bildung dieser Ausscheidungen ist es allgemein bekannt, dass das Wachstum der kuboiden γ' -Ausscheidungen bei einer zu schnellen Abkühlung unterdrückt wird. Wird das Bauteil langsamer als mit 1° C pro Sekunde abgekühlt, entstehen jedoch bei Unterschreiten der γ' -Solidus-Temperatur die genannten Ausscheidungen. Die Solidus-Temperatur liegt bei 1150°C. Um aus diesem Temperatur-Niveau eine langsame Abkühlung zu gewährleisten, muss die Temperatur des Pulverbettes geringfügig tiefer liegen. Ein Temperatur-Niveau zwischen 900 °C und höchstens 1000 °C hat sich hierbei als vorteilhaft erwiesen.

Werden oxidische oder nitridische Keramiken als Schicht auf den Partikeln verwendet (vorteilhaft sind Aluminiumoxid, Ti-

tanoxid, Siliziumoxid, Zirkonoxid, Yttriumoxid und Aluminiumnitrid), dann bildet sich in dem Bauteil ein Gefüge, welches Sauerstoff oder Stickstoff oder beide Legierungsanteile enthält. Ein solches Bauteil löst vorteilhaft die eingangs angegebene Aufgabe, dass dieses sich mit selektivem Laserschmelzen herstellen lässt, wobei die beschriebenen Pulver zum Einsatz kommen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Bauteiles ist vorgesehen, dass der Anteil an Sauerstoff oder der Anteil an Stickstoff 0,3 Vol-%, bevorzugt 0,1 Vol-%, nicht übersteigt. Hierdurch ist vorteilhaft sichergestellt, dass einerseits die Schicht auf den Partikeln eine genügende Dicke aufweisen kann, um ihre Wirkung zu entfalten. Andererseits ist der daraus resultierende Anteil an Stickstoff oder Sauerstoff dennoch so gering, dass sich dies nicht negativ auf die Legierung des Bauteiles auswirkt.

Andererseits ist vorgesehen, dass der Anteil an Sauerstoff oder der Anteil an Stickstoff mindestens 0,03 Vol-% beträgt, damit die keramische Schicht auf den Partikeln eine genügende Dicke aufweisen kann.

Weitere Einzelheiten der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung beschrieben. Gleiche oder sich entsprechende Zeichnungselemente sind jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden nur insoweit mehrfach erläutert, wie sich Unterschiede zwischen den einzelnen Figuren ergeben. Es zeigen:

Figur 1 eine Laserschmelzanlage, in der ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens durchgeführt wird, geschnitten,
Fig. 2 bis 4 ausgewählte Schritte bei der Durchführung des Verfahrens gemäß Figur 1, wobei ein kleiner Ausschnitt des in Herstellung befindlichen Bauteiles geschnitten dargestellt ist, und

Figur 5 einen Ausschnitt aus einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Bauteiles, welches gemäß den Figuren 2 bis 4 hergestellt wurde.

5 In Figur 1 ist eine Anlage 11 zum Laserschmelzen schematisch darstellt. Diese weist eine Prozesskammer 12 auf, in der ein Pulverbett 13 hergestellt werden kann. Zur Herstellung je-
10 weils einer Lage des Pulverbettes 13 wird eine Verteilungseinrichtung in Form einer Rakel 14 über einen Pulvervorrat 15 und anschließend über das Pulverbett 13 bewegt, wodurch eine dünne Schicht an Pulver im Pulverbett 13 entsteht. Ein Laser 16 erzeugt dann einen Laserstrahl 17, der mittels einer optischen Umlenkvorrichtung mit Spiegel 18 über die Oberfläche des Pulverbettes 13 bewegt wird. Dabei wird das Pulver am
15 Auftreffpunkt des Laserstrahls 17 aufgeschmolzen, wodurch ein Bauteil 19 entsteht.

Das Pulverbett 13 entsteht auf einer Bauplattform 20, welche über einen Aktor 21 in einem topfförmigen Gehäuse 22 schrittweise um jeweils eine Pulverlagendicke abgesenkt werden kann.
20 In dem Gehäuse 22 sowie der Bauplattform 20 sind Heizeinrichtungen 23 in Form von elektrischen Widerstandsheizungen vorgesehen, welche das in Entstehung befindliche Bauteil 19 sowie die Partikel des Pulverbettes 13 vorwärmen können. Um den
25 Energiebedarf zur Vorwärmung zu begrenzen, befindet sich an dem Gehäuse 22 außen eine Isolation 24 mit geringer thermischer Leitfähigkeit.

In Figur 2 ist eine Kante des herzustellenden Bauteiles 19
30 dargestellt, welches beispielsweise in einer Anlage gemäß Figur 1 hergestellt werden könnte. Dieses Bauteil befindet sich im Pulverbett 13, dessen Ränder durch eine strichpunktiierte Linie angedeutet sind. Außerdem sind aus dem Pulverbett 13 ausgewählte Partikel 25 dargestellt, die aus dem Material einer Nickel-Basis-Legierung bestehen. Das herzustellende Bauteil kann z. B. eine Turbinenschaufel sein.
35

Die Partikel bestehen jeweils aus einem Kern 26, welcher aus dem eigentlichen Werkstoff des Bauteiles 19 besteht, im vorliegenden Fall einer Nickel-Basis-Legierung. Außerdem ist der Kern 26 der Partikel 19 von einer Schicht 27 umgeben, welcher dem Kern jeweils vollständig umhüllt und aus Aluminiumoxid besteht. Dies ermöglicht eine Vorwärmung des Pulverbettes auf bis zu 1000 °C, ohne dass benachbarte Partikel 25 miteinander verbacken.

10 In Figur 3 ist dargestellt, wie mittels des Laserstrahls 17 ein Teil des Pulverbettes 13 aufgeschmolzen wird, nämlich derjenige Teil, der an der Kante des Bauteils 19 liegt. Dabei schmelzen die Kerne 26 der Partikel 25 auf. Bevor es zu einem Aufschmelzen kommt, dehnen sich die Kerne 26, die aus einem metallischen Werkstoff bestehen, jedoch aus. Dabei platzt die Schicht 27 teilweise von den Kernen 26 ab, wobei daraus entstehende Schichtfragmente 28 in dem aufgeschmolzenen Werkstoff verbleiben und sich dort auflösen (Legierungsbildung). Ein Teil der Schichtfragmente 28 wird jedoch soweit abgesprengt, dass diese außerhalb des durch den Laserstrahl 17 gebildeten Schmelzbades 29 verbleiben.

In Figur 4 ist zu erkennen, wie der Laser 17 über das Pulverbett 13 bewegt wird, wobei das Schmelzbad, wie in Figur 4 dargestellt, von links nach rechts wandert. Hierbei wird eine der Lagendicke d des Pulverbettes entsprechende Lage des herzustellenden Bauteiles 19 ausgebildet. Wandert der Laserstrahl 17 weiter, erstarrt das Material bei gleichzeitiger Ausbildung des Bauteilvolumens. Die in Figur 1 angedeutete Heizung bewirkt, dass die Abkühlgeschwindigkeit des Materials des in Herstellung befindlichen Bauteiles 19 bei weniger als 1 °C pro Sekunde liegt.

35 In Figur 5 ist das fertiggestellte Bauteil zu erkennen. Dieses ist schematisch als Schliffbild dargestellt. Das Material, aus dem das Bauteil 19 gefertigt ist, ist eine Nickel-Basis-Superlegierung. Durch die kontrollierte Abkühlgeschwin-

digkeit ist es gelungen, einen hohen Anteil so genannter γ' -Ausscheidungen 30 aus intermetallischen Phasen zu erzielen. Diese sind in einer Matrix 31 des Bauteiles eingebettet. Damit lässt sich mittels des erfindungsgemäßen selektiven Laserschmelzens ein Bauteilgefüge erreichen, wie dies gemäß dem Stand der Technik bisher nur durch Gießen beispielsweise von Turbinenschaufeln erzeugt werden konnte.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen eines Bauteils (19) aus einer Superlegierung mit einem pulverbettbasierten additiven Herstellungsverfahren,

bei dem das Bauteil (19) lagenweise in einem Pulverbett (13) durch Aufschmelzen von das Pulverbett (13) bildenden Partikeln (25) mit einem Energiestrahle (17) aufgebaut wird, wobei das Pulverbett (13) auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur der Partikel (25) vorgewärmt wird, bevor und während die Partikel (25) aufgeschmolzen werden, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass ein Pulver verwendet wird, dessen Partikel (25) mit einer keramischen Schicht (27) umhüllt sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Keramik Metalle enthält, die auch einen Legierungsbestandteil der Superlegierung darstellen.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Legierungsgehalt desjenigen Legierungsbestandteils der Superlegierung, der auch in der Keramik enthalten ist, im Vergleich zur Soll-Legierungszusammensetzung der Superlegierung in dem Maße vermindert ist, dass dieser Legierungsbestandteil unter Berücksichtigung der Menge des betreffenden in der Schicht (27) enthaltenen Metalls bezogen auf das beschichtete Partikel (25) den Legierungsgehalt der Soll-Legierungszusammensetzung erreicht oder übertrifft.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Keramik oxidisch oder nitridisch ist.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass die Schicht (27) auf den Partikeln (25) eine Dicke von mindestens 1 nm und höchstens 20 nm aufweist.

6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass Partikel (25) mit einer Partikelgröße von mindestens 10 µm und höchstens 50 µm, bevorzugt mit einer mittleren Partikelgröße von 25 µm bis 30 µm verwendet werden.
- 10 7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass als Superlegierung eine Nickelbasis-Superlegierung verwendet wird.
- 15 8. Verfahren nach Anspruch 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Pulverbett (13) auf eine Temperatur von mindestens 800 °C und höchstens 1000 °C vorgewärmt wird.
- 20 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Bauteil (19) nach dessen Fertigstellung mit einer Geschwindigkeit von höchstens 1 °C / s abgekühlt wird.
- 25 10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Keramik aus der Gruppe folgender Werkstoffe ausgewählt wird: Aluminiumoxid, Titanoxid, Siliziumoxid, Zirkonoxid, Yttriumoxid, Aluminiumnitrid und Siliziumoxid.
- 30 11. Bauteil aus einer Superlegierung
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Legierungszusammensetzung der Superlegierung einen Legierungsanteil an Sauerstoff oder an Stickstoff enthält.
- 35 12. Bauteil nach Anspruch 11,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass der Anteil an Sauerstoff oder der Anteil an Stickstoff
0,3 Vol-% nicht übersteigt.

13. Bauteil nach einem der Ansprüche 11 oder 12,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass er Anteil an Sauerstoff oder der Anteil an Stickstoff
mindestens bei 0,03 Vol-% liegt.

FIG 1

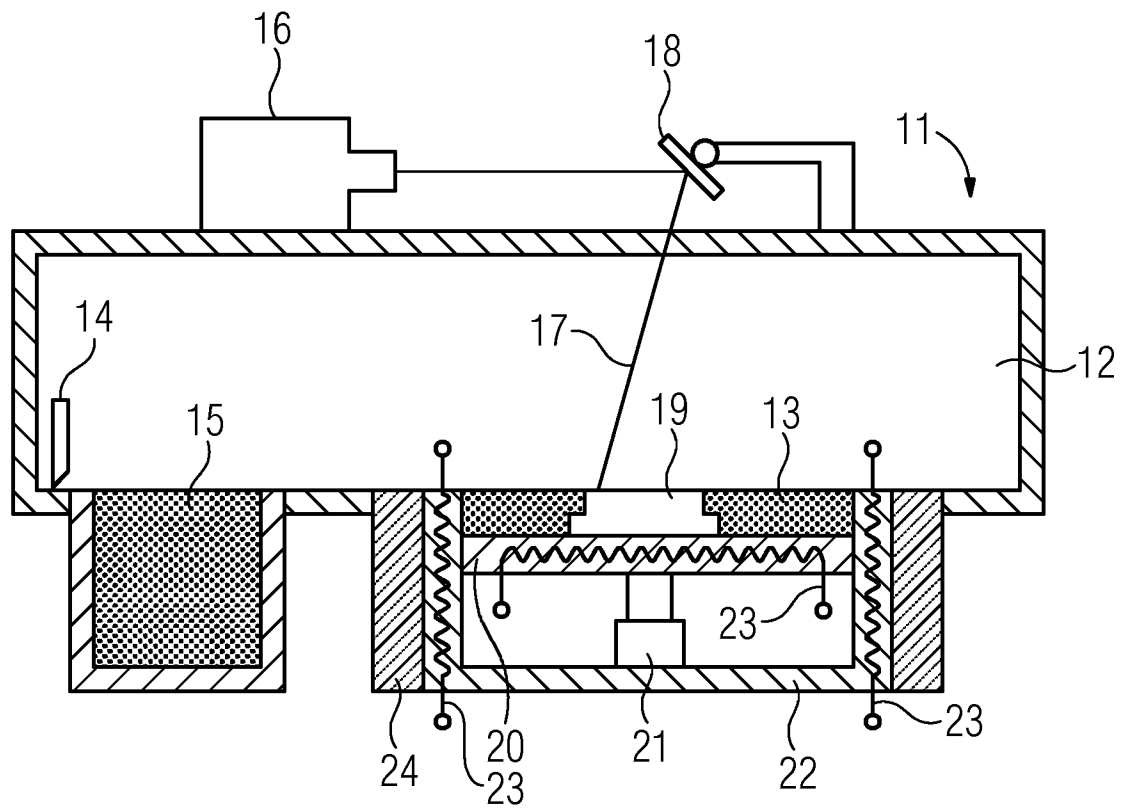


FIG 2

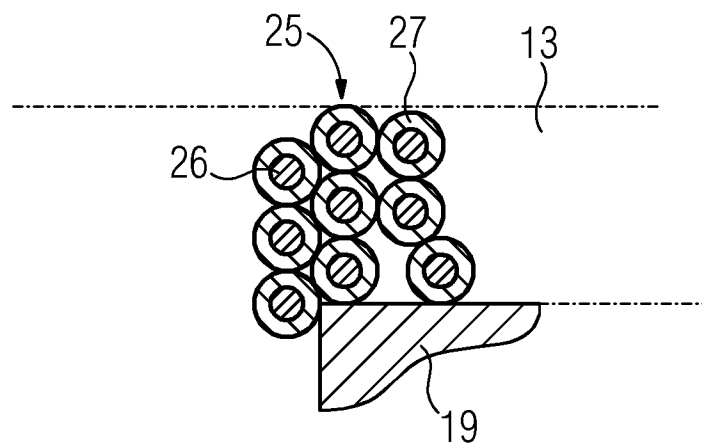


FIG 3

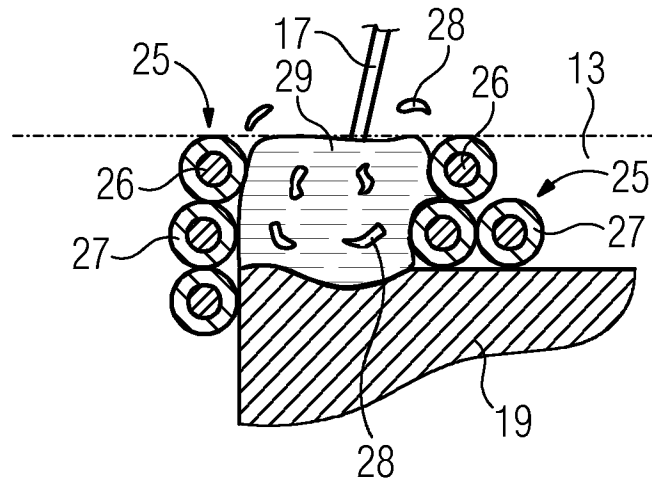


FIG 4

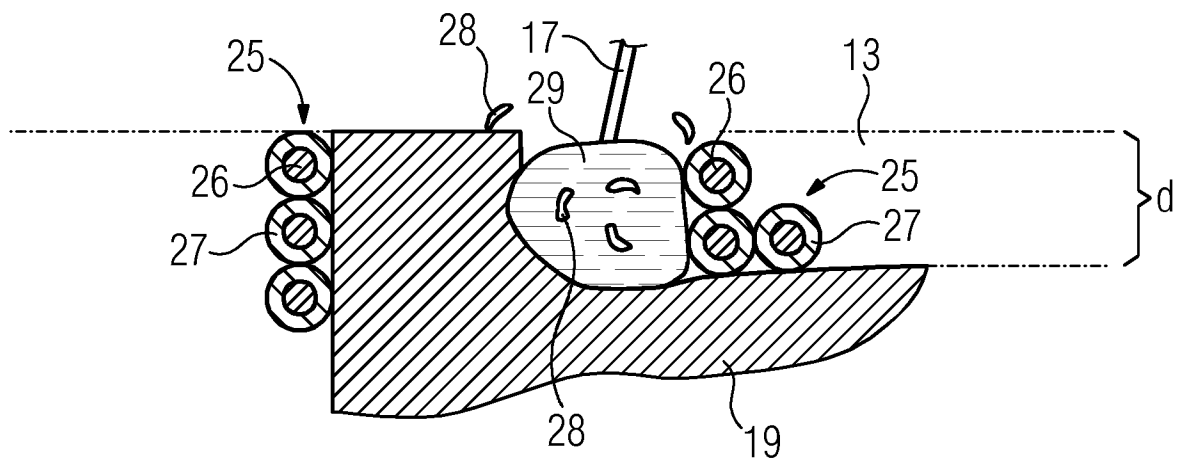
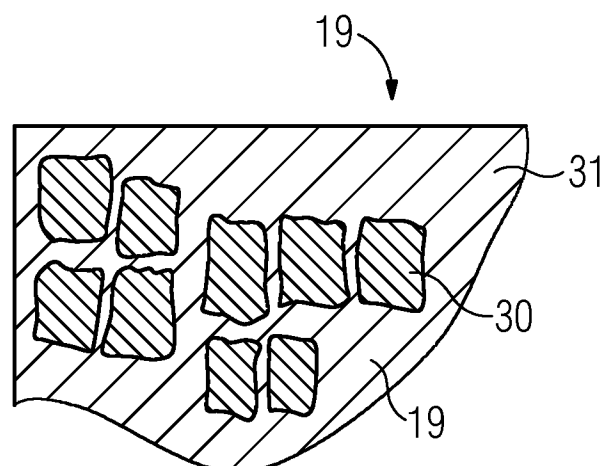


FIG 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/055146

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B22F1/02 B22F3/105 B22F5/04
ADD.

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

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DAS S ET AL: "PRODUCING METAL PARTS WITH SELECTIVE LASER SINTERING/HOT ISOSTATIC PRESSING", JOM: JOURNAL OF METALS, SPRINGER NEW YORK LLC, UNITED STATES, vol. 50, no. 12, 1 December 1998 (1998-12-01), pages 17-20, XP000803245, ISSN: 1047-4838, DOI: 10.1007/S11837-998-0299-1 table III ----- -/--	11-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 June 2016

Date of mailing of the international search report

14/06/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Forestier, Gilles

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/055146

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	HAGEDORN Y C ET AL: "chapter 50: Processing of Nickel based super alloy MAR M-247 bei means of High Temperature-Selective Laser Melting (HT-SLM)", 1 January 2013 (2013-01-01), HIGH VALUE MANUFACTURING : ADVANCED RESEARCH IN VIRTUAL AND RAPID PROTOTYPING ; PROCEEDINGS OF THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED RESEARCH AND RAPID PROTOTYPING, LEIRIA, PORTUGAL, 1-5 OCTOBER, 2013, CRC PRESS/BALKEMA, USA, PAGE(S) 291 - 295, XP008180464, ISBN: 978-1-138-00137-4 cited in the application page 292; table 1 -----	11
X	WO 2015/001241 A2 (SNECMA [FR]; EADS EUROP AERONAUTIC DEFENCE [FR]; AIRBUS HELICOPTERS [F]) 8 January 2015 (2015-01-08) page 1 page 31, lines 19-36 figure 6C -----	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/055146

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2015001241 A2	08-01-2015	CA 2917038 A1	08-01-2015
		EP 3016764 A2	11-05-2016
		FR 3008014 A1	09-01-2015
		WO 2015001241 A2	08-01-2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B22F1/02 B22F3/105 B22F5/04
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B22F

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DAS S ET AL: "PRODUCING METAL PARTS WITH SELECTIVE LASER SINTERING/HOT ISOSTATIC PRESSING", JOM: JOURNAL OF METALS, SPRINGER NEW YORK LLC, UNITED STATES, Bd. 50, Nr. 12, 1. Dezember 1998 (1998-12-01), Seiten 17-20, XP000803245, ISSN: 1047-4838, DOI: 10.1007/S11837-998-0299-1 Tabelle III ----- -/-	11-13



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. Juni 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/06/2016

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

Forestier, Gilles

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	HAGEDORN Y C ET AL: "chapter 50: Processing of Nickel based super alloy MAR M-247 bei means of High Temperature-Selective Laser Melting (HT-SLM)", 1. Januar 2013 (2013-01-01), HIGH VALUE MANUFACTURING : ADVANCED RESEARCH IN VIRTUAL AND RAPID PROTOTYPING ; PROCEEDINGS OF THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED RESEARCH AND RAPID PROTOTYPING, LEIRIA, PORTUGAL, 1-5 OCTOBER, 2013, CRC PRESS/BALKEMA, USA, PAGE(S) 291 - 295, XP008180464, ISBN: 978-1-138-00137-4 in der Anmeldung erwähnt Seite 292; Tabelle 1 -----	11
X	WO 2015/001241 A2 (SNECMA [FR]; EADS EUROP AERONAUTIC DEFENCE [FR]; AIRBUS HELICOPTERS [F]) 8. Januar 2015 (2015-01-08) Seite 1 Seite 31, Zeilen 19-36 Abbildung 6C -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/055146

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2015001241 A2	08-01-2015	CA 2917038 A1	08-01-2015
		EP 3016764 A2	11-05-2016
		FR 3008014 A1	09-01-2015
		WO 2015001241 A2	08-01-2015
