

(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
03. Oktober 2019 (03.10.2019)



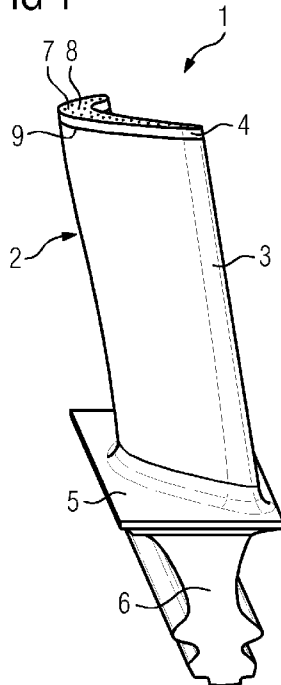
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/185231 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F01D 5/28 (2006.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
C23C 28/02 (2006.01) *C23C 4/073* (2016.01)
C23C 24/10 (2006.01)
- (72) Erfinder: **BRUNHUBER, Christian**; Zogenreuth 6, 91275 Auerbach (DE). **BURBAUM, Bernd**; Jenaer Str. 23, 14612 Falkensee (DE). **HÄBEL, Roland**; Simonswiese 33, 51427 Bergisch Gladbach (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/053531
- (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (22) Internationales Anmeldedatum:
13. Februar 2019 (13.02.2019)
- (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,
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2018 204 724.3
28. März 2018 (28.03.2018) DE
- (71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

(54) Title: TURBINE BLADE HAVING AN OXIDATION-RESISTANCE BLADE AIRFOIL TIP

(54) Bezeichnung: TURBINENSCHAUFEL MIT OXIDATIONSRESISTENTER SCHAUFELBLATTSPITZE

FIG 1



(57) Abstract: The invention relates to a turbine blade (1) for the rotor of a gas turbine, which turbine blade comprises a blade airfoil (2), which extends from a blade root (6) in the radial direction and has a blade airfoil main body (3) comprising a first material and a blade airfoil tip (4) comprising a second material, the second material being more resistant to oxidation than the first material. The composition of the second material is graduated at least in subregions. The invention further relates to a method for producing the turbine blade according to the invention. The method comprises the following steps: providing a main body of a turbine blade airfoil on a construction platform of a device for performing an additive method, said main body having a first material; applying a pulverous second material, which is different from the first material, in a certain amount; fusing the pulverous material by applying a high-energy beam; lowering the construction platform, the steps of applying and fusing the pulverous material and of lowering the construction platform being repeated as many times as necessary to complete the tip of the blade airfoil.

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Turbinenschaufel (1) für den Rotor einer Gasturbine bereitgestellt, die ein sich von einem Schaufelfuß (6) in radialer Richtung erstreckendes Schaufelblatt (2) umfasst, das einen Schaufelblattgrundkörper (3) umfassend ein erstes Material und eine Schaufelblattspitze (4) umfassend ein zweites Material aufweist, wobei das zweite Material resistenter gegen Oxidation ist als das erste Material. Die Zusammensetzung des zweiten Materials ist zumindest in Teilbereichen gradiert ausgebildet. Es wird weiterhin ein Verfahren bereitgestellt, um die erfindungsgemäße Turbinenschaufel herzustellen. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: Bereitstellen eines ein erstes Material aufweisenden Grundkörpers eines Turbinenschaufelblattes auf einer Bauplattform einer Vorrichtung zum Ausführen eines additiven Verfahrens, Aufbringen eines pulverförmigen zweiten Materials, das von dem ersten Material verschieden ist, in einer bestimmten Menge, Verschmelzen des pulverförmigen Materials durch Wirkung eines energiereichen Strahls, Absenken der Bauplattform, wobei die Schritte des Aufbringens und Verschmelzens des pulverförmigen Materials sowie des Absenkens der Bauplattform in einer Anzahl wiederholt werden, wie zum Fertigstellen des Spitze des Schaufelblattes notwendig sind.



WO 2019/185231 A1

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)

Beschreibung

Turbinenschaufel mit oxidationsresistenter Schaufelblattspitze

5

Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel, deren Schaufelblatt einen Grundkörper aus einem ersten Material und eine Schaufelblattspitze aus einem zweiten, oxidationsresistenten Material aufweist, sowie ein Verfahren zum Herstellen der besagten Turbinenschaufel.

10

Moderne Gasturbinen, z.B. für Gas- und Dampfkraftwerke, sind Gegenstand stetiger Verbesserung, um ihre Effizienz zu steigern. Dies führt allerdings zu immer höheren Temperaturen im Heißgaspfad. Die metallischen Materialien für Laufschaufeln, insbesondere in den ersten Stufen, wurden in den letzten Jahren hinsichtlich ihrer Festigkeit bei hohen Temperaturen (Kriechbelastung, thermomechanische Ermüdung) verbessert. Dies führte jedoch teilweise zu einer Verschlechterung der Oxidationseigenschaften. Das wird besonders an der Spitze einer Schaufel (Schaufelblattspitze, Schaufeltip) zum Problem, denn auf der dem Gehäuse zugewandten Fläche des Schaufeltips (Anstreifkante) kann es im Betrieb – insbesondere in den ersten Betriebsstunden – zum Anstreifen des Schaufeltips kommen. Dabei kann es zum Abrieb einer auf dem herkömmlicherweise eine Nickel-basierte Superlegierung umfassendes Grundmaterial der Schaufel abgelagerten MCrAlY-Schicht kommen, wie sie beispielsweise in der Druckschrift EP 2 317 078 A2 offenbart sind, wodurch das Grundmaterial dann heißen, oxidierenden Verbrennungsgasen ausgesetzt ist. Durch die Oxidation des Materials an der Schaufelblattspitze kommt es zu höheren Spaltverlusten und einer geringeren Lebensdauer der Schaufel.

25

30

Herkömmlicherweise wird versucht, dieses Problem durch eine konservativere Auslegung der Spalte, ein Absenken der Verbrennungstemperatur oder durch eine stärkere Kühlung der Schaufel/Schaufelblattspitzen zumindest einzuschränken. Diese Maßnahmen führen jedoch zu einem größeren Kühlluftverbrauch

35

bzw. zu einem Verlust an Leistung. Es gibt auch Bestrebungen, mittels einer hinreichend dicken und abriebfähigen keramischen Schicht auf dem Ringsegment die Schädigung der Schaufelblattspitze zu minimieren. Diese keramischen Schichten tendieren jedoch zum Verspröden. Es besteht die Aufgabe, den Stand der Technik zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch eine Turbinenschaufel mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Neben- und Unteransprüchen, den Figuren und den Ausführungsbeispielen. Besagte Ausführungsformen der Erfindung sind in vorteilhafter Weise miteinander kombinierbar.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel für den Rotor einer Gasturbine, umfassend ein sich vom Schaufelfuß in radialer Richtung erstreckendes Schaufelblatt, das einen Grundkörper umfassend ein erstes Material und eine Schaufelblattspitze umfassend ein zweites Material aufweist, wobei das zweite Material resistenter gegen Oxidation ist als das erste Material.

Das Material der Schaufelblattspitze ist damit nicht schlechthin mit einem oxidationsresistenten Material beschichtet, sondern besteht vorteilhafterweise aus einem oxidationsresistenten Material. Dadurch kann die Widerstandsfähigkeit der Schaufelblattspitze gegen oxidativ wirkende Kräfte im Heißgas, auch bei Beschädigungen, erhöht werden. Besonders bevorzugt ist der Bereich der Anstreifkante, der in radialer Richtung zum Gehäuse gerichtete Teil der Schaufelblattspitze, aus diesem Material gebildet.

Vorzugsweise umfasst das zweite Material, aus dem die Schaufelblattspitze besteht, eine MCrAlY-Legierung. MCrAlY-Legierungen (M steht für Co und/oder Ni) zeichnen sich vorteilhaft durch eine hohe Oxidationsbeständigkeit aus. Weiterhin kann eine MCrAlY-Legierung direkt auf das erste Material aufgetragen werden. Für den Aufbau des Schaufeltips eignen

sich besonders additive Fertigungsverfahren, z.B. das Laser-auftragsschweißen, selektives Laserschmelzen und selektives Elektronenstrahlschmelzen.

5 Vorzugsweise weist das zweite Material folgende chemische Zusammensetzung auf:

Co: 22 - 26 Gew%

Cr: 14 - 18 Gew%,

10 Al: 9,5 - 11,5 Gew%,

Y: 0,2 - 0,7 Gew%,

Re: 0,0 - 1,8 Gew%

Ta: 0,0 - 1,7 Gew%,

15 und den Rest Nickel und zufällige und unvermeidbare Verunreinigungen. Diese MCrAlY-Legierung weist in dieser Zusammensetzung durch eine besonders hohe Temperaturfestigkeit aus, was sich vorteilhaft in Bezug eines Einschneidens der Schaufelblattspitze in eine abreibbare Beschichtung des entsprechenden Turbinengehäuses auswirkt, und somit zur Verhinderung von Spaltverlusten beiträgt. Ein Ausbilden bestimmter erwünschter Phasen in dem zweiten Material liegt im Ermessen und Können des Fachmanns.

25 Weiterhin ist es bevorzugt, wenn als erstes Material der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel die Legierung Alloy 247 (A247) verwendet wird. Die Verwendung von A247 ist vorteilhaft, weil es das zweite Material in der oben beschriebenen Zusammensetzung eine ausgezeichnete Anbindung an A247 ausbil-

30 det. A247 ist ein gerichtet erstarrter bzw. stängelkristalliner Werkstoff. Als erstes Material können jedoch auch andere Legierungen verwendet werden, wobei verschiedene Kristallorientierungen vorhanden sein können.

35 In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel ist die Zusammensetzung des zweiten Materials zumindest in Teilbereichen gradiert ausgebildet. Mit anderen Worten ändert sich die Zusammensetzung des zweiten Ma-

terials zumindest in Teilbereichen graduell von der Anbin-
dungsfläche an das erste Material zur Anstreifkante hin. Un-
ter Teilbereichen werden Abschnitte des zweiten Materials
verstanden, also z.B. ein Bereich, der sich an den Übergang
5 zwischen erstem und zweitem Material anschließt oder diesen
auch umfasst. Beispielsweise ist eine gradierte Zusammenset-
zung vorteilhaft, falls die metallische Bindung zwischen dem
ersten und dem zweiten Material nicht hinreichend stark ist.
Im Bereich zum ersten Material hin ist das zweite Material in
10 seinem Gehalt einzelner oder aller Elemente der Zusammenset-
zung innerhalb der jeweiligen Bereichsangaben dem ersten Ma-
terial vorzugweise ähnlicher. Es ist deshalb besonders bevor-
zugt, wenn das zweite Material im Bereich des Übergangs vom
ersten Material zum zweiten Material derart gradiert ist,
15 dass thermomechanische Spannungen zwischen dem ersten Materi-
al und dem zweiten Material ausgeglichen werden. Weiterhin
ist es besonders bevorzugt, wenn das Material der Schaufel-
blattspitze in Richtung der Anstreifkante, d.h. des Endes der
Schaufelblattspitze in radialer Richtung, zunehmend oxidati-
20 onsresistente Eigenschaften aufweist. Besonders im Bereich
der Anstreifkante ist eine hohe Oxidationsresistenz von Vor-
teil, weil dort besonders aggressive Bedingungen das Material
der Schaufelblattspitze angreifen.

25 Vorzugsweise weist das zweite Material der erfindungsgemäßen
Turbinenschaufel keramische Partikel auf. Die keramischen
Partikel erhöhen vorteilhaft die Abriebfestigkeit des zweiten
Materials. Die Konzentration der keramischen Partikel im
zweiten Material kann über das Volumen der Schaufelblattspit-
30 ze gleichmäßig sein, oder alternativ zur Anstreifkante hin
höher sein. Besonders bevorzugt wird kubisches Bornitrid
(cBN) oder Siliziumcarbid (SiC) oder eine Kombination dieser
Stoffe als keramisches Additiv verwendet, ohne darauf be-
schränkt zu sein.

35 Vorzugsweise im Bereich der Schaufelblattspitze der erfin-
dungsgemäßen Turbinenschaufel komplexe Strukturen zum Kühlen
angeordnet. Mit anderen Worten sind besonders in der An-

streifkante komplexe Kühlstrukturen, z.B. Kühlkanäle, eingebaut, um vorteilhaft die Oxidationsbeständigkeit der Schaufelblattspitze weiter zu steigern. Dabei wird das Bereitstellen der komplexen Strukturen besonders durch oben erwähnte additive Fertigungsverfahren ermöglicht.

Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel ist vorzugsweise eine Laufschaufel einer Gasturbine. Die Gasturbine ist vorzugsweise in einem Gas- und Dampfkraftwerk eingesetzt.

Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel, umfassend die Schritte:

- 15 - Bereitstellen eines ein erstes Material aufweisenden Grundkörpers eines Turbinenschaufelblattes auf einer Bauplattform einer Vorrichtung zum Ausführen eines additiven Verfahrens,
- 20 - Aufbringen eines pulverförmigen zweiten Materials, dass von dem ersten Material verschieden ist, in einer bestimmten Menge,
- Verschmelzen des pulverförmigen Materials durch Wirkung eines energiereichen Strahls,
- 25 - Absenken der Bauplattform,

wobei die Schritte des Aufbringens und Verschmelzens des pulverförmigen Materials sowie des Absenkens der Bauplattform in einer Anzahl wiederholt werden, wie zum Fertigstellen des Spitze des Schaufelblattes notwendig sind.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann das zweite Material direkt auf dem ersten Material aufgetragen werden. Das Verfahren umfasst additive Fertigungsverfahren, z.B. Laserauftragsschweißen, selektives Laserschmelzen und selektives Elektronenstrahlschmelzen.

Mit dem Verfahren können vorteilhaft komplexe Strukturen im Bereich der Schaufelblattspitze, besonders in der Anstreifkante, erzeugt werden, die zum Kühlen der Schaufelblattspitze beitragen. Komplexe Strukturen sind z.B. Kanäle und Löcher, die zum Durchströmen von fluiden Medien geeignet sind. Es ist deshalb bevorzugt, wenn beim Herstellen der Schaufelblattspitze komplexe Kühlstrukturen in der Schaufelblattspitze erzeugt werden. Besonders bevorzugt werden die komplexen Kühlstrukturen in der Anstreifkante erzeugt.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Zusammensetzung des pulverförmigen zweiten Materials im Verlauf des Auftragens graduell verändert. Dafür ist besonders die Methode des Laserauftragsschweißens, bei der das aufzutragende Material auf die Oberfläche des darunterliegenden Materials unter gleichzeitigem Schmelzen aufgetragen wird. Das Laserauftragsschweißen ist hier vorteilhaft, weil es ermöglicht, während des Schweißvorgangs in-situ die Pulverzusammensetzung zu variieren. Es ist darum weiterhin bevorzugt, wenn als energiereicher Strahl ein Laserstrahl verwendet wird.

Vorzugsweise werden dem pulverförmigen zweiten Material Keramiktteilchen zugemischt. Die Konzentration der keramischen Partikel im zweiten Material kann über das Volumen der Schaufelblattspitze gleichmäßig sein, oder alternativ zur Anstreifkante hin höher sein, indem dem pulverförmigen zweiten Material eine in Richtung der Anstreifkante eine größere Menge Keramiktteilchen zugemischt wird als im Bereich des Übergangs zwischen erstem und zweitem Material. Besonders bevorzugt wird kubisches Bornitrid (cBN) oder Siliziumcarbid (SiC) oder eine Kombination dieser Stoffe als keramisches Additiv verwendet, ohne darauf beschränkt zu sein.

35

Die Erfindung wird anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen

- Figur 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel.
- 5 Figur 2 eine vergrößerte Ansicht der Schaufelblattspitze der Turbinenschaufel gemäß Fig. 1.
- Figur 3 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens.
- 10 Figur 4 ein Fließdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 1 zeigt eine Laufschaufel 1 für eine Gasturbine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Laufschaufel 1 umfasst gemäß der Darstellung ein sich in radialer Richtung erstreckendes Schaufelblatt 2 mit einem Schaufelblattgrundkörper 3 und einer Schaufelblattspitze 4. Weiterhin umfasst die Laufschaufel 1 eine Schaufelplattform 5 und einen Schaufelfuß 6 in tannenbaumförmiger Ausbildung.

20

An dem in radialer Richtung den Abschluss des Schaufelblattes 2 und damit der Schaufelblattspitze 4 bildenden Ende weist die Schaufelblattspitze 4 eine Anstreifkante 7 auf. Die Anstreifkante 7 erstreckt sich entlang der Umfangswandung und fluchtet außenseitig mit dieser.

25

Der Schaufelgrundkörper 3 weist ein erstes Material auf. Das erste Material des Schaufelgrundkörpers ist im Ausführungsbeispiel die Legierung A247. Alternativ kann das erste Material auch andere Legierungen umfassen oder aus diesen bestehen.

30

Die Schaufelblattspitze 4 und damit auch die Anstreifkante 7 weisen ein zweites Material auf, das eine Legierung des MCrAlY-Typs ist. Konkret ist das zweite Material eine Legierung mit der Zusammensetzung Co: 22 - 26 Gew%, Cr: 14 - 18 Gew%, Al: 9,5 - 11,5 Gew%, Y: 0,2 - 0,7 Gew%, Re: 0,0 - 1,8 Gew%, Ta: 0,0 - 1,7 Gew% und den Rest Nickel und zufällige und un-

35

vermeidbare Verunreinigungen. Alternativ kann das zweite Material auch andere Legierungen umfassen oder aus diesen bestehen. Das MCrAlY-Material weist keramische Partikel 8 aus kubische Bornitrid (cBN), Siliziumcarbid (SiC) oder einer
5 Kombination davon oder alternativ auch aus einem anderen Material als Additive auf.

Das Material der Schaufelblattspitze 4 ist zumindest in Teilbereichen gradiert ausgebildet. Dabei sind die Anteile der
10 Legierungsbestandteile der oben beschriebenen Legierung gradierend so verändert, dass sie im Bereich des Übergangs 9 zwischen dem ersten Material und zweiten Material möglichst geringe Unterschiede in Bezug auf thermische Expansionskoeffizienten und Wärmeleitungskoeffizienten gibt. Im Bereich der
15 Anstreifkante 7 ist dafür die Oxidationsresistenz des Materials höher als im Bereich des Übergangs 9. Mit anderen Worten nimmt die Oxidationsresistenz des Materials der Schaufelblattspitze 4 in radialer Richtung zu. Alternativ kann das Material der Schaufelblattspitze 4 auch nicht gradierend ausgebildet sein.
20

Auch die Menge bzw. Konzentration der oben beschriebenen keramischen Partikel 8 kann gradiert im Material der Schaufelblattspitze 4 ausgebildet sein. Dabei ist die Konzentration
25 der keramischen Partikel 8 im Bereich der Anstreifkante 7 höher als im Übergangsbereich 9 zwischen dem ersten und dem zweiten Material.

Der Bereich der Schaufelblattspitze 4 mit der Anstreifkante 7
30 ist in Fig. 2 detailliert dargestellt. Im Bereich der Anstreifkante 7 sind keramische Partikel 8 zu sehen. Die Anstreifkante 7 ist als 3D-Körper ausgebildet. Dabei sind in der Anstreifkante 7 komplexe Strukturen ausgebildet, besonders in Form von Kühlkanälen, deren Eingangs- bzw. Ausgangslöcher
35 10 in der Oberfläche der Anstreifkante 7 dargestellt sind. Diese komplexen Strukturen 10 sind besonders mit additiven Fertigungsverfahren wie beispielsweise Laserauftragschweißen oder selektivem Laserschmelzen herzustellen.

In einem Verfahren zum Auftragen des zweiten Materials auf das erste Material durch Laserauftragsschweißen wird eine Vorrichtung 20, die in Fig. 3 dargestellt ist, in einer dem Fachmann geläufigen Baukammer bereitgestellt. Die Baukammer enthält eine Stickstoff- oder Edelgasatmosphäre, um Lufteinschlüssen in dem Material der Schaufel 2 entgegenzuwirken. Die Vorrichtung 20 umfasst eine Lasereinrichtung 21, die ausgebildet ist, einen Laserstrahl 22 zu erzeugen oder von einer äußeren Laserquelle zu einem zu bestrahlenden Objekt zu lenken. Dazu weist die Lasereinrichtung 21 dem Fachmann bekannte Bauteile wie z.B. Glasfaserkabel und Umlenkspiegel auf.

Ein leistungsstarkes Objektiv 23, z.B. ein F-Theta-Objektiv, ist zur Fokussierung des Laserstrahls 22 vorgesehen. Der Laserstrahl 22 wird durch eine Zuführeinrichtung 24 zum Bereich der Schaufelblattspitze 4 geleitet. Die Zuführeinrichtung 24 ist mit einem Vorratsbehälter 25 verbunden, der das zweite Material, aus dem die Schaufelblattspitze hergestellt werden soll, in Pulverform enthält. Das Pulver wird über eine Einrichtung zur Materialförderung 26, zur Zuführeinrichtung 24 befördert. Die Zuführeinrichtung 24 ist vorzugsweise als Düse ausgebildet, um das pulverförmige zweite Material einzudüsen bzw. auf die Oberfläche des bereits vorhandenen Materials der Schaufelblattspitze 4 aufgedüst, so dass es direkt beim Auftragen auf eine Materialschicht durch den Laser zum Schmelzen gebracht wird.

Das pulverförmige zweite Material wird in Fig. 3 auf einen Grundkörper 3 eines Schaufelblattes 2 einer Laufschaufel aufgetragen, um die Spitze des Schaufelblattes 4 herzustellen.

In Fig. 4 ist eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Schaufel 1 gemäß Fig. 1 als Fließdiagramm dargestellt. In einem ersten Schritt S1 wird eine zu fertigende Turbinenschaufel 1 mit einem ersten Material aufweisendem Grundkörper 3 des Turbinenschaufelblattes 2 auf einer Bauplattform einer Vorrichtung

zum Ausführen eines additiven Verfahrens bereitgestellt. In einem zweiten Schritt S2 wird ein pulverförmiges zweites Material, dass von dem ersten Material verschieden ist, in einer bestimmten Menge aus dem Vorratsbehälter 25 durch die
5 Einrichtung zur Materialförderung 26 zur Zufuhreinrichtung 24 befördert. Durch die Zufuhreinrichtung 24 wird das pulverförmige Material auf das erste Material des Grundkörpers 3 oder das bereits aufgetragenen und verfestigte zweite Material der
10 Schaufelblattspitze 4 aufgetragen.

In einem dritten Schritt S3 wird das zweite Material durch die Wirkung des Laserstrahls 22 aufgeschmolzen und mit dem darunter liegenden Material verschmolzen. Die Schritte S2 und
15 S3 können gleichzeitig durchgeführt werden, da der Laserstrahl 22 durch die Zufuhreinrichtung 24 hindurchgeführt wird und das pulverförmige Material bereits im Moment des Aufbringens aufgeschmilzt.

In einem vierten Schritt S4 wird die Bauplattform abgesenkt.
20 Die Schritte S1 - S4 werden in einer Anzahl wiederholt, wie zum Fertigstellen des Spitze des Schaufelblattes notwendig sind.

Alternativ zum beschriebenen Laserauftragsschweißen kann die
25 Schaufelblattspitze durch Pulverbettverfahren wie selektives Laserschmelzen oder selektives Elektronenstrahlschmelzen hergestellt werden. In diesem Fall würde eine entsprechende Baukammer bereitgestellt werden, in der auf eine gebildete Materialschicht eine Pulverschicht aufgetragen werden kann und in
30 dieser Materialschicht bestimmte Bereiche mittels eines Energiestrahls zum Schmelzen gebracht und dann verfestigt werden, und dieser Prozess Schicht für Schicht wiederholt wird, bis das Bauteil fertiggestellt ist.

35 Für einen Fachmann naheliegende Abwandlungen und Änderungen der Erfindung fallen unter den Schutzzumfang der Patentansprüche.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1) für den Rotor einer Gasturbine, umfassend ein sich vom Schaufelfuß (6) in radialer Richtung erstreckendes Schaufelblatt (2), das einen Schaufelblattgrundkörper (3) umfassend ein erstes Material und eine Schaufelblattspitze (4) umfassend ein zweites Material aufweist, wobei das zweite Material resistenter gegen Oxidation ist als das erste Material, wobei die Zusammensetzung des zweiten Materials zumindest in Teilbereichen gradiert ausgebildet ist.

2. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, bei der das Material der Schaufelblattspitze (4) eine MCrAlY-Legierung umfasst.

3. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 2, bei der das zweite Material folgende chemische Zusammensetzung aufweist:

Co: 22 - 26 Gew%
Cr: 14 - 18 Gew%,
Al: 9,5 - 11,5 Gew%,
Y: 0,2 - 0,7 Gew%,
Re: 0,0 - 1,8 Gew%
Ta: 0,0 - 1,7 Gew%,

und den Rest Nickel und zufällige und unvermeidbare Verunreinigungen.

4. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, bei der als erstes Material die Legierung Alloy 247 verwendet wird.

5. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, bei der das zweite Material im Bereich des Übergangs (9) vom ersten Material zum zweiten Material gradiert ausgebildet ist, so dass thermomechanische Spannungen zwischen dem ersten Material und dem zweiten Material ausgeglichen werden.

6. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Material der Schaufelblattspitze (4) in Richtung einer das radiale Ende der Schaufel darstellenden Anstreifkante (7) zunehmend oxidationsresistente Eigenschaften aufweist.
7. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, bei der das zweite Material keramische Partikel (8) aufweist.
8. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, bei der im Bereich der Anstreifkante (7) komplexe Strukturen (10) zum Kühlen ausgebildet sind.
9. Turbinenschaufel (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, die eine Laufschaufel einer Gasturbine ist.
10. Verfahren zum Herstellen einer Turbinenschaufel (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche, umfassend die Schritte:
- Bereitstellen eines ein erstes Material aufweisenden Grundkörpers eines Turbinenschaufelblattes (3) auf einer Bauplattform einer Vorrichtung zum Ausführen eines additiven Verfahrens,
 - Aufbringen eines pulverförmigen zweiten Materials, dass von dem ersten Material verschieden ist, in einer bestimmten Menge,
 - Verschmelzen des pulverförmigen Materials durch Wirkung eines energiereichen Strahls,
 - Absenken der Bauplattform,
- wobei die Schritte des Aufbringens und Verschmelzens des pulverförmigen Materials sowie des Absenkens der Bauplattform in einer Anzahl wiederholt werden, wie zum Fertigstellen des Spitze des Schaufelblattes (4) notwendig sind.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Zusammensetzung des pulverförmigen zweiten Materials im Verlauf des Auftragens graduell verändert wird.

5

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, wobei dem pulverförmigen zweiten Material Keramikteilchen (8) zugemischt werden.

10 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 - 12, wobei komplexe Kühlstrukturen (10) im Bereich der Anstreifkante (7) der Schaufelblattspitze (4) erzeugt werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 - 13, wobei als energiereicher Strahl ein Laserstrahl (22) verwendet wird.

15

FIG 1

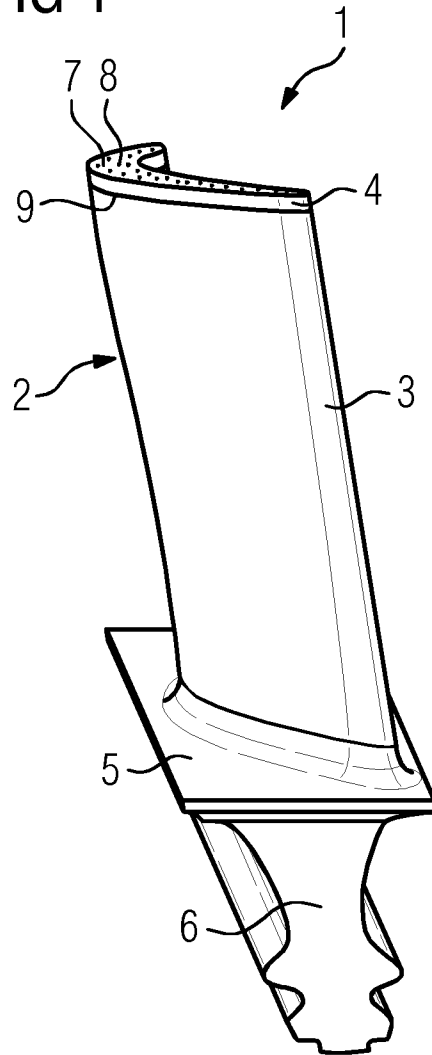


FIG 2

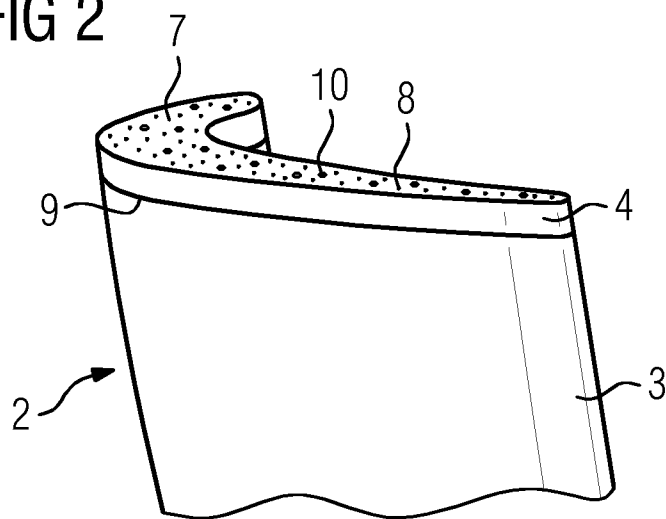


FIG 3

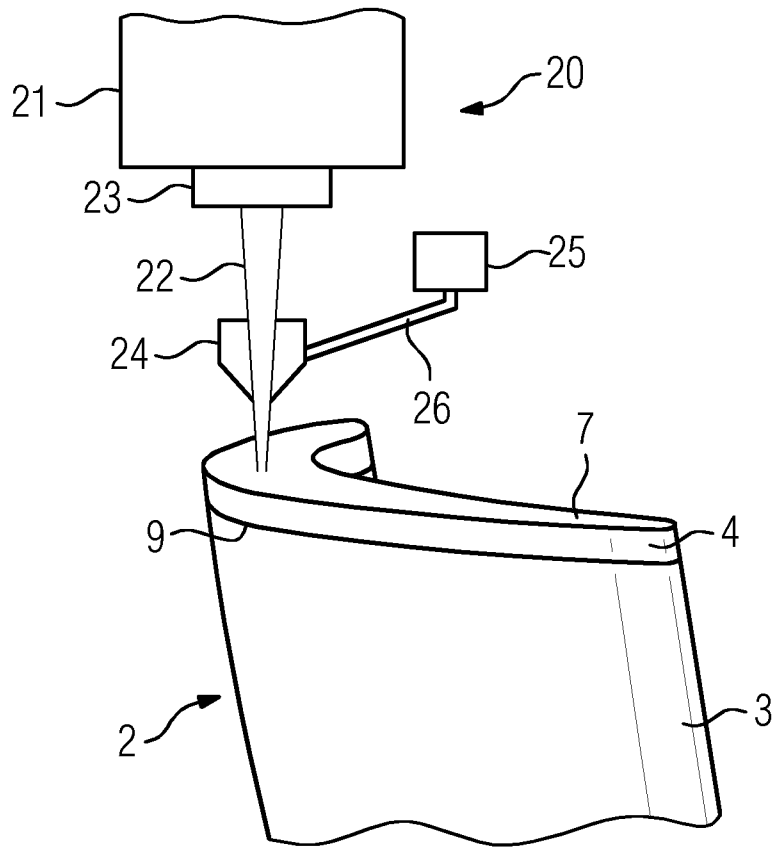
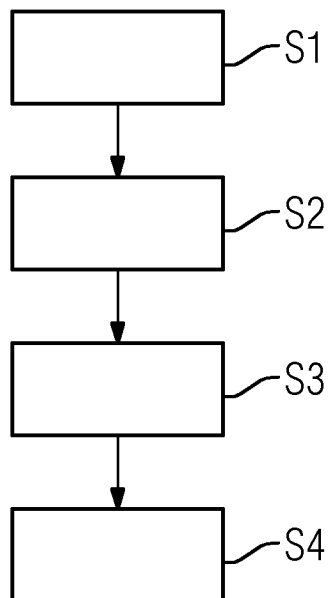


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/053531

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>F01D 5/28</i> (2006.01)i; <i>C23C 28/02</i> (2006.01)i; <i>C23C 24/10</i> (2006.01)i; <i>B33Y 10/00</i> (2015.01)i; <i>C23C 4/073</i> (2016.01)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) F01D; C23C; 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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	EP 1743729 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 17 January 2007 (2007-01-17) paragraphs [0028], [0029], [0053] - [0067]; figures 1,4	1,5,6,8-11,13,14 7,12
X Y	EP 2845924 A1 (SIEMENS AG [DE]) 11 March 2015 (2015-03-11) paragraphs [0022] - [0037]; figures 1,3	1-3,6,9 4,7,12
Y	US 2013294913 A1 (CAMPBELL CHRISTIAN X [US] ET AL) 07 November 2013 (2013-11-07) paragraph [0022]; figure 1	4
Y	EP 1408197 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]) 14 April 2004 (2004-04-14) paragraphs [0008], [0009], [0033] - [0046]; figures 1A-1F,7	7,12
<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 02 May 2019		Date of mailing of the international search report 10 May 2019
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 Dreyer, Christoph Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/053531

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	1743729	A2	17 January 2007	CA	2551249	A1	30 December 2006
				CN	1896463	A	17 January 2007
				EP	1743729	A2	17 January 2007
				JP	5197929	B2	15 May 2013
				JP	2007051635	A	01 March 2007
				US	2007003416	A1	04 January 2007
				US	2009280269	A1	12 November 2009
EP	2845924	A1	11 March 2015	CN	104416984	A	18 March 2015
				EP	2845924	A1	11 March 2015
				JP	2015054522	A	23 March 2015
				KR	20150029554	A	18 March 2015
				RU	2014135724	A	27 March 2016
				US	2016024941	A1	28 January 2016
US	2013294913	A1	07 November 2013	NONE			
EP	1408197	A1	14 April 2004	CA	2450654	A1	27 December 2002
				CN	1462330	A	17 December 2003
				EP	1408197	A1	14 April 2004
				JP	2002371803	A	26 December 2002
				US	2004208749	A1	21 October 2004
				WO	02103165	A1	27 December 2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2019/053531

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F01D5/28 C23C28/02 C23C24/10 B33Y10/00 C23C4/073
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01D C23C 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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 743 729 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 17. Januar 2007 (2007-01-17)	1,5,6, 8-11,13, 14
Y	Absätze [0028], [0029], [0053] - [0067]; Abbildungen 1,4	7,12
X	EP 2 845 924 A1 (SIEMENS AG [DE]) 11. März 2015 (2015-03-11)	1-3,6,9
Y	Absätze [0022] - [0037]; Abbildungen 1,3	4,7,12
Y	US 2013/294913 A1 (CAMPBELL CHRISTIAN X [US] ET AL) 7. November 2013 (2013-11-07) Absatz [0022]; Abbildung 1	4
Y	EP 1 408 197 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]) 14. April 2004 (2004-04-14) Absätze [0008], [0009], [0033] - [0046]; Abbildungen 1A-1F,7	7,12

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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
2. Mai 2019	10/05/2019

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 Dreyer, Christoph
--	--

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/053531

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1743729	A2	17-01-2007	CA 2551249 A1 30-12-2006
			CN 1896463 A 17-01-2007
			EP 1743729 A2 17-01-2007
			JP 5197929 B2 15-05-2013
			JP 2007051635 A 01-03-2007
			US 2007003416 A1 04-01-2007
			US 2009280269 A1 12-11-2009

EP 2845924	A1	11-03-2015	CN 104416984 A 18-03-2015
			EP 2845924 A1 11-03-2015
			JP 2015054522 A 23-03-2015
			KR 20150029554 A 18-03-2015
			RU 2014135724 A 27-03-2016
			US 2016024941 A1 28-01-2016

US 2013294913	A1	07-11-2013	KEINE

EP 1408197	A1	14-04-2004	CA 2450654 A1 27-12-2002
			CN 1462330 A 17-12-2003
			EP 1408197 A1 14-04-2004
			JP 2002371803 A 26-12-2002
			US 2004208749 A1 21-10-2004
			WO 02103165 A1 27-12-2002
