

(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
25. Juni 2015 (25.06.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/090680 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 15/00 (2006.01) **F01D 5/02** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/072592
- (22) Internationales Anmeldedatum:
22. Oktober 2014 (22.10.2014)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2013 226 664.2
19. Dezember 2013 (19.12.2013) DE
- (71) Anmelder: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH**
[DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).
- (72) Erfinder: **MÜNCH, Günter**; Fichteck 29, 67316
Carlsberg (DE). **THOMAS, Martin**; Heinrich-Heine-Weg
17, 93051 Regensburg (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,
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)

(54) Title: TURBINE ROTOR AND METHOD FOR PRODUCING SAID TURBINE ROTOR

(54) Bezeichnung : TURBINENLÄUFER UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DES TURBINENLÄUFERS

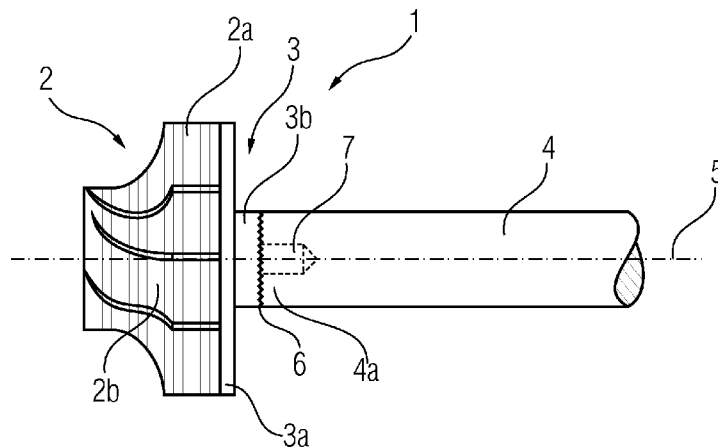


FIG 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a turbine rotor (1) for an exhaust gas turbine as well as to a method for producing a turbine rotor (1) of said type. The turbine rotor (1) comprises a turbine wheel (2) made of a high temperature-resistant metal alloy material, a main hub component (3), and a rotor shaft (4) made of a steel material. The turbine rotor (1) is characterized in that the turbine wheel (2) is made of a high temperature-resistant metal alloy material that is applied in layers to a turbine wheel platform of the main hub component (3) by means of an electron beam fusion process and in that an end (4a) of the rotor shaft (4) is connected to the main hub component (3).

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Die Erfindung betrifft einen Turbinenläufer (1) für eine Abgasturbine sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Turbinenläufers (1), wobei der Turbinenläufer (1) ein Turbinenlaufrad (2) bestehend aus einem hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoff und ein Nabenbasisbauteil (3) sowie eine Läuferwelle (4) bestehend aus einem Stahlwerkstoff aufweist. Der Turbinenläufer (1) zeichnet sich dadurch aus, dass das Turbinenlaufrad (2) aus einem, mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens schichtweise auf einer Laufradplattform des Nabenbasisbauteils (3) aufgetragenen, hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoff besteht und ein Läuferwellenende (4a) der Läuferwelle (4) mit dem Nabenbasisbauteil (3) verbunden ist.

Beschreibung

Turbinenläufer und Verfahren zur Herstellung des Turbinenläufers

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Turbinenläufer für eine Abgasturbine sowie ein Verfahren zur Herstellung des Turbinenläufers

Ein solcher Turbinenläufer besteht aus einem Turbinenrad und
10 einer Läuferwelle als bauliche Einheit und ist zum Beispiel Teil des Laufzeugs eines Abgasturboladers und dient zur Umsetzung von im Abgas einer Verbrennungsmaschine enthaltener Abgasenergie in Rotationsenergie des Laufzeugs und zur Übertragung dieser
15 Verdichterrad, mit dessen Hilfe die Rotationsenergie genutzt wird zur Erzeugung eines erhöhten Druckes der Luftzufuhr der Verbrennungsmaschine und somit zur Steigerung der Leistung und Effizienz der Verbrennungsmaschine.

20 Stattdessen kann beispielsweise auch ein Generator mit dem Turbinenläufer gekoppelt sein, mit dessen Hilfe die Rotationsenergie in elektrische Energie gewandelt wird, die wiederum vielseitig genutzt werden kann.

25 Der derzeitige Hauptanwendungsbereich betrifft jedoch Abgasturbolader für Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen, weshalb im Weiteren in der Beschreibung auf Abgasturbolader Bezug genommen wird sofern zum besseren Verständnis nützlich.

30 Abgasturbolader werden vermehrt zur Leistungssteigerung bei Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotoren eingesetzt. Dies geschieht immer häufiger mit dem Ziel den Verbrennungsmotor bei gleicher oder gar gesteigerter Leistung in Baugröße und Gewicht zu reduzieren und gleichzeitig den Verbrauch und somit den
35 CO₂-Ausstoß, im Hinblick auf immer strenger werdende gesetzliche Vorgaben diesbezüglich, zu verringern. Das Wirkprinzip besteht darin, die im Abgasstrom enthaltene Energie zu nutzen um den Druck im Ansaugtrakt des Verbrennungsmotors zu erhöhen und so eine

bessere Befüllung des Brennraumes mit Luft-Sauerstoff zu bewirken und somit mehr Treibstoff, Benzin oder Diesel, pro Verbrennungsvorgang umsetzen zu können, also die Leistung des Verbrennungsmotors zu erhöhen.

5

Ein Abgasturbolader weist dazu eine im Abgasstrang des Verbrennungsmotors angeordnete Turbine mit einem durch den Abgasstrom angetriebenen Turbinenläufer, bestehend aus Turbinenlaufrad und Läuferwelle und einen im Ansaugtrakt angeordneten Verdichter mit einem auf der Läuferwelle angeordneten, den Druck aufbauenden Verdichterlaufrad auf. Das Turbinenlaufrad und die Läuferwelle sind stoffschlüssig mit einander verbunden und bilden so eine bauliche Einheit. Das Verdichterlaufrad ist drehfest an dem dem Turbinenlaufrad gegenüberliegenden Ende der Läuferwelle des Turbinenläufers befestigt, wobei die Läuferwelle in einer zwischen Turbine und Verdichter angeordneten Lager-
einheit drehgelagert ist. Somit wird mit Hilfe des Abgasmassenstroms der Turbinenläufer und über die Läuferwelle wiederum das Verdichterlaufrad angetrieben und die Abgasenergie so zum Druckaufbau im Ansaugtrakt genutzt.

Das Turbinenrad befindet sich im Betrieb im heißen Abgasstrom und ist somit sehr großen Temperaturschwankungen ausgesetzt wobei Spitzentemperaturen bis über 1000°C erreicht werden. Gleichzeitig rotiert der Turbinenläufer mit sehr hohen Drehzahlen von bis zu 300.000 U/min wodurch das Turbinenlaufrad und insbesondere die Turbinenradbeschaufelung sehr hohen mechanischen Beanspruchungen durch die auftretenden hohen Fliehkräften ausgesetzt ist. Weiterhin ist insbesondere die Masse des Turbinenrades von großer Bedeutung für das dynamische Ansprechverhalten der Turbine, was einer den hohen Belastungen entsprechenden massiven Auslegung des Turbinenlaufrades entgegensteht.

Bei den Turbinenlaufrädern werden deshalb vermehrt hochwarmfeste Metalllegierungen, wie zum Beispiel Titan-Aluminium-Legierungen

(TiAl-Legierungen oder Titanaluminid) oder Ni-Basislegierungen eingesetzt, die sich insbesondere durch ihre hohe spezifische Festigkeit bei hoher Temperatur und ein gleichwohl niedriges spezifisches Gewicht auszeichnen. Darüber hinaus kommt der
5 Wärmeausdehnungskoeffizient dieser hochwarmfesten Metalllegierungen dem von üblicherweise im Turbinenbau verwendeten Metallen sehr nahe, was Probleme aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnung zu vermeiden hilft. Praktisch eingesetzt werden intermetallische Gemische mit einem Hauptanteil an Titan und
10 Aluminium oder Nickel.

Wie beispielsweise auch aus der DE 10 2007 048 789 A1 bekannt ist, können bei den TiAl-Legierungen die konkreten Legierungszusammensetzungen durchaus variieren und auch weitere Bestandteile
15 enthalten und sind im typischerweise gekennzeichnet durch einen Titananteil zwischen von 50 und 60% (Gewichtsanteil) und einem Aluminiumanteil >25% (Gewichtsanteil). Weitere Bestandteile können beispielsweise Cr, Nb, B, C oder Mo sein. TiAl-Legierungen bilden eine sogenannte γ -TiAl-Phase (Gamma-Titanaluminid) mit
20 tetragonaler Kristallstruktur und werden je nach Anteil an weiteren unterschiedlichen Phasen als Gamma-, Duplex- oder Lammellare Legierungen bezeichnet.

Bei den Ni-Basislegierungen handelt es sich beispielsweise um
25 Inco 713 C, Inco 713 LC, MAR-M 246, MAR-M 247, B 1964, IN 100 oder GMR-235.

In den folgenden Ausführungen werden all diese Legierungsgefüge übergreifend unter dem Begriff „hochwarmfeste Metalllegierungen“ zusammengefasst.
30

Die Läuferwelle andererseits ist ein Teil des Lagerungssystems des Turbinenläufers und muss eine hohe Wechselbiegebelastung aufnehmen können und muss zumindest im Lagerungsbereich über eine

ausreichend gehärtete Außenschicht verfügen, um ein Festfressen der Lager zu vermeiden. Andererseits ist die Läuferwelle nicht den extrem hohen Temperaturen ausgesetzt wie das Turbinenlaufrad.

5

Für diesen Einsatz eignen sich dem entsprechend Werkstoffe wie Stahl, insbesondere Baustahl, niedrig- oder hochlegierter Vergütungsstahl, wie zum Beispiel 42CrMo4(1.7225), X22CrMoV12-1(1.4923) oder X19CrMoNbVN11-1(1.4913) oder auch
10 Superlegierungen wie Inconel oder Incoloy (siehe auch DE 10 2007 048 789 A1). Diese Materialien werden in den folgenden Ausführungen einfach und übergreifend als Stahl bezeichnet.

Um die jeweiligen Vorteile der entsprechenden Materialien nutzen
15 zu können werden die Turbinenläufer also aus den oben genannten Komponenten, Turbinenlaufrad aus hochwarmfester Metalllegierung und Läuferwelle aus Stahl, gefertigt und müssen in der Folge vorteilhaft mittels einer stoffschlüssigen Verbindung zu einer Baueinheit zusammengefügt werden.

20

Bei stoffschlüssigen Verbindungen werden die Verbindungspartner mittels atomarer oder molekularer Kräfte zusammengehalten und sind nicht lösbare Verbindungen, die sich nur zerstörend wieder lösen lassen. Stoffschlüssige Verbindungen sind in diesem
25 Zusammenhang bisher insbesondere Schweißverbindungen und Lötverbindungen.

Wie zum Beispiel aus der DE 697 24 730 T2 bekannt, kann das in diesem Zusammenhang in Verbindung mit anderen Materialkombi-
30 nationen bekannte Reibschweißverfahren nur beschränkt eingesetzt werden. Der Grund dafür ist, dass, wenn ein Reibschweißverfahren eingesetzt wird, beispielsweise die Transformation des Stahls zur Zeit der Abkühlung vom Austenit zum Martensit eine Ausdehnung des Stahles verursacht, was eine Restspannung be-
35 wirkt, und auch wenn das Material des Turbinenlaufrads eine hohe Steifigkeit besitzt, liegt die Formbarkeit bei Raumtemperatur ungefähr bei geringen 1% und deshalb kann ein Brechen der Räder auftreten. Des Weiteren kann beispielsweise eine Reaktion von

TiAl mit dem Kohlenstoff, C, im Stahl auftreten, wodurch Titancarbid an der Verbindungsschnittstelle gebildet wird. Desweiteren kann es zur Ausbildung von intermetallischen Phasen wie TiFe und TiFe₂ in der Verbindungsebene kommen. Beides ist
5 ursächlich dafür dass die Festigkeit an der Schnittstelle in kritischem Maße sinkt.

Zur Vermeidung dieser Problematik wird in der DE 697 24 730 T2 ein Lötverfahren vorgeschlagen, bei dem zwischen den beiden
10 Verbindungspartnern Turbinenlaufrad und Läuferwelle ein Lotmaterial, das zum Beispiel ein austenitisches Gefüge aufweist eingefügt wird.

Löten ist, gemäß DIN 8505 „Löten“, ein thermisches Verfahren zum
15 stoffschlüssigen Fügen von Werkstoffen, wobei eine flüssige Phase durch Schmelzen eines Lotes und eine Verbindung durch Diffusion des Lotes an den Grenzflächen entsteht. Ein weiterer wesentlicher Unterschied zum Schweißen besteht darin, dass die Solidustemperatur der Grundwerkstoffe der Verbindungspartner
20 dabei nicht erreicht wird.

Somit findet dieser Prozess bei niedrigeren Temperaturen statt als das Schweißen und es werden weniger Eigenspannungen in der Fügestelle erzeugt. Desweiteren kann durch die Verwendung eines
25 entsprechenden Lotes als Zwischenmaterial zwischen den Verbindungspartnern die Ausbildung von für die Festigkeit schädlichen Gefügestrukturen verhindert werden. Als Lotmaterialien werden gemäß DE 697 24 730 T2 vorteilhaft hauptsächlich auf Nickel, Kupfer, Silber oder Titan basierte Metalllegierungen
30 eingesetzt.

Eine spezielle Problematik bei diesen Verbindungsprozessen besteht dabei darin, dass auch bei den niedrigeren Löttemperat-
35 raturen die Austenittemperatur des für die Läuferwelle eingesetzten Stahls möglicherweise überschritten wird und dadurch eine Enthärtung des Stahls stattfindet. Diese Problematik ist umso gravierender desto breiter sich der Erwärmungsbereich um die Lötverbindung herum, ggf. bis in die Lagerbereiche der Läu-

ferwelle hinein ausdehnt. Dies ist vor allem der Fall bei den üblicherweise eingesetzten Verfahren zur Erwärmung mittels Brennern, Induktionsspulen oder gar Heizöfen. Eine erneute nachträgliche, kosten- und zeitintensive Nachbearbeitung sowie
5 Härtung der Läuferwelle wird dadurch unumgänglich. Dies ist vor Allem für eine industrielle Großserien-Fertigung von Nachteil.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Turbinenläufer, bestehend aus einem Turbinenlaufrad aus
10 einer hochwarmfesten Metalllegierung und einer damit verbundenen Stahl-Läuferwelle, für eine Abgasturbine, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Turbinenläufers anzugeben, bei denen die Nachteile der nach den vorgenannten Verfahren hergestellten Turbinenläufern vermieden werden.

Insbesondere soll dadurch bei reduziertem Massenträgheitsmoment des Turbinenläufers die Festigkeit der Verbindung zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle verbessert werden und die Härtung, insbesondere der Lagerbereiche, der Läuferwelle soll
20 durch das Herstellverfahren unbeeinflusst bleiben und eine zusätzliche Nachbearbeitung ersparen.

Diese Aufgabe wird durch einen Turbinenläufer mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 sowie durch ein Verfahren zur Herstellung
25 dieses Turbinenläufers mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 9 gelöst. Vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen, welche einzeln oder, sofern es sich nicht um sich gegenseitig ausschließende Alternativen handelt, in Kombination miteinander eingesetzt werden können, sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Der erfindungsgemäße Turbinenläufer für eine Abgasturbine weist ein Turbinenlaufrad bestehend aus einem hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoff und ein Nabenbasisbauteil sowie eine Läuferwelle bestehend aus einem Stahlwerkstoff auf und zeichnet
35 sich dadurch aus, dass das Turbinenlaufrad aus einem, mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens schichtweise auf einer Laufradplattform des Nabenbasisbauteils aufgebracht, hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoff besteht und ein

Läuferwellenende der Läuferwelle mit dem Nabenbasisbauteil verbunden ist.

Das Turbinenlaufrad weist einen Grundkörper mit einer Beschau-
5 felung auf der Vorderseite auf. Auf der der Beschau-
gegenüberliegenden Seite ist das Nabenbasisbauteil angeordnet,
auf dessen Laufradplattform der Grundkörper und die Beschau-
felung des Turbinenlaufrades aufgebaut sind. Das Nabenbasis-
bauteil weist auf der dem Grundkörper des Turbinenlaufrades
10 abgewandten Seite eine Laufradnabe auf, die beispielsweise als
ein konzentrisch angeordneter Zylinderabschnittes ausgebildet
ist.

Die Läuferwelle besteht aus Stahl und ist mit dem Zylinder-
15 abschnitt des Nabenbasisbauteils verbunden. Die Läuferwelle ist
dabei vorzugsweise für den späteren Einsatz fertig bearbeitet und
zumindest im Bereich der späteren Lagerstellen gehärtet.

Dies hat den Vorteil, dass der hochwarmfesten Metalllegie-
20 rungswerkstoff des Grundkörpers des Turbinenlaufrades durch das
Aufschmelzverfahren eine feste Verbindung mit der Laufrad-
plattform eingeht und zuverlässig mit dem Nabenbasisbauteil
verbunden ist. Der Werkstoff des Nabenbasisbauteils kann
wiederum auf den Werkstoff der Läuferwelle abgestimmt werden, so
25 dass bei Anwendung eines massenfertigungstauglichen Schweiß-
verfahrens, wie zum Beispiel Reibschweißen, zur Herstellung der
Verbindung zwischen Laufradnabe des Turbinenrads und Läufer-
welle, eine Versprödung des Werkstoffes in der Verbindungsebene
und eine Enthärtung der Läuferwelle vermieden werden können.
30 Dadurch werden die Festigkeit und die Zuverlässigkeit des
Turbinenläufers insgesamt erhöht.

In vorteilhafter Ausführung des Turbinenläufers ist der hoch-
warmfeste Metalllegierungswerkstoff des Turbinenlaufrads eine
35 TiAl-Legierung (Titanaluminid-Legierung) oder eine
Ni-Basis-Legierung (Nickel-Basis-Legierung). Beide Werk-
stoffgruppen zeichnen sich insbesondere durch hohe Festigkeit
bei den im Betrieb zu erwartenden hohen Temperaturen (bis über

1000°C) bei gleichzeitig niedrigem Gewicht aus. In vorteilhafter Kombination dazu ist der Stahlwerkstoff des Nabenbasisbauteils und der Läuferwelle ein niedriglegierter oder hochlegierter Vergütungsstahl oder ein austenitischer Stahl.

5 Dadurch sind die Materialeigenschaften von Turbinenlaufrad, Nabenbasisbauteil und Läuferwelle für den jeweiligen Belastungsfall besonders gut abgestimmt.

10 In einer weiteren Ausführung bestehen das Nabenbasisbauteil und die Läuferwelle aus verschiedenen Stahlwerkstoffen. Dies ermöglicht eine Auswahl des Werkstoffes des Nabenbasisbauteils, der sowohl mit dem hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoff des Turbinenlaufrads als auch mit dem Stahlwerkstoff der Läuferwelle und bildet so einen optimierten Übergang zwischen Turbinen-
15 laufrad und Läuferwelle.

Bei der oben genannten Kombination von Turbinenlaufrad, Nabenbasisbauteil und Läuferwelle ist in vorteilhafter Weise das Nabenbasisbauteil und ein Läuferwellenende der Läuferwelle
20 mittels einer Schweißverbindung verbunden.

Die Schweißverbindung zwischen Nabenbasisbauteil und Läuferwellenende ist in vorteilhafter Weise als eine Reib-Schweißverbindung oder eine Elektronenstrahl-Schweißverbindung ausgeführt. Durch die gute Beherrschbarkeit dieser Verfahren durch
25 eine automatisierte Durchführung und die somit mögliche Überwachung, Steuerung und Regelung der Verfahrensparameter ergibt sich eine gute Eignung für die Großserienproduktion bei gleichbleibend hoher Qualität der Verbindung.

30

In einer besonders vorteilhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Turbinenläufers bestehen das Nabenbasisbauteil und die Läuferwelle aus dem gleichen Stahlwerkstoff und sind einstückig miteinander verbunden, bilden also ein einstückiges Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil. Das heißt Nabenbasisbauteil und
35 Läuferwelle sind aus einem Stück gefertigt, wobei die Läuferwelle an ihrem, dem Turbinenlaufrad zugewandten Läuferwellenende eine Laufradplattform aufweist, auf der das Turbinenlaufrad mittels

eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens direkt schichtweise aufgebaut ist. Dies erspart ein separates Nabenbasisbauteil und den zusätzlichen Arbeitsgang des Verschweißens zwischen Nabenbasisbauteil und Läuferwellenende und es gibt eine
5 Verbindungsstelle also eine potentielle Schwachstelle weniger, was sich auf die Herstellkosten und die Stabilität des Turbinenläufers positiv auswirkt.

Zusätzlich kann der Turbinenläufer in einer vorteilhaften
10 Ausführung dadurch gekennzeichnet sein, dass das Nabenbasisbauteil oder das mit dem Nabenbasisbauteil verbundene Läuferwellenende eine zentrisch angeordnete Bohrung aufweist, die im Übergang zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle als Wärmedrossel wirkt.

15 Diese spezielle Bohrung kann beispielsweise als Sacklochbohrung in das Läuferwellenende eingebracht werden, was insbesondere auch bei der Ausführung mit einem einstückigen Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil geeignet ist. Bei der Ausführung mit
20 einem separaten Nabenbasisbauteil kann die Bohrung auch als Durchgangsbohrung in dem Nabenbasisbauteil ausgebildet sein.

Dieses Merkmal reduziert den Wärmeübergang des ggf. auf über 1000°C erhitzten Turbinenlaufrads auf die Läuferwelle, wodurch
25 eine Überhitzung der Lagerung der Läuferwelle im Betrieb wirkungsvoll verhindert werden kann.

In einer weiteren Ausführung des erfindungsgemäßen Turbinenläufers können in dem Laufradkörper des Turbinenlaufrades ein
30 Hohlraum oder mehrere Hohlräume ausgebildet sein, der bzw. die ebenfalls als Wärmedrossel im Wärmeübergang zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle wirken aber den zusätzlichen Vorteil aufweisen, dass die träge Schwungmasse des Turbinenlaufrades und somit das Massenträgheitsmoment des Turbinenläufers signifikant
35 weiter reduziert ist, wodurch das Ansprechverhalten der Abgasturbine, in der dieser Turbinenläufer eingesetzt wird, wesentlich verbessert werden kann. Der Hohlraum kann sich dabei im Laufradkörper bis hin zur Laufradplattform des Nabenba-

sisbauteils erstrecken und von diesem geschlossen sein. Der Hohlraum kann aber auch durch eine Wandung des hochwarmfesten Legierungswerkstoffs des Turbinenlaufrades hin zur Laufradplattform geschlossen sein. Es kann auch zum Beispiel die Kontur des Hohlraumes der Kontur des Laufradkörpers in einem Abstand folgen, wodurch der Laufradkörper als einen Hohlkörper mit bestimmter, dem Abstand entsprechenden Wandstärke ausgebildet ist. Der Hohlraum oder die Hohlräume können nahezu beliebige Geometrien aufweisen, so können im Laufradkörper auch mehrerer, miteinander verbunden, zum Beispiel kugelförmige Hohlräume angeordnet sein.

Solche Hohlräume können erst durch Einsatz des Erfindungsgemäßen Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahren direkt beim schichtweisen Aufbau des Turbinenlaufrades besonders einfach auch als nahezu geschlossener Hohlraum ausgebildet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der jeweilige Hohlraum zumindest eine Öffnung zum Außenraum des Turbinenlaufrades hin aufweist und bei mehreren Hohlräumen eine Verbindung zwischen diesen und zumindest auch eine Öffnung zum Außenraum des Turbinenlaufrades vorhanden ist. Dies ist erforderlich um nach Fertigstellung des Turbinenlaufrades den noch in den Hohlräumen befindlichen, nicht aufgeschmolzenen, pulverförmigen Metalllegierungswerkstoff entfernen zu können.

In einer weiteren Ausgestaltung des Turbinenläufers sind in dem Hohlraum im Laufradkörper Versteifungsstrukturen ausgebildet, wie zum Beispiel flächige oder stabförmige Speichen, insbesondere Radialspeichen, oder auch amorphe Stützstrukturen. Dies verleiht dem Turbinenlaufrad bei reduziertem Trägheitsmoment hohe Festigkeit und Stabilität.

Zusätzliche spanabhebende Arbeitsschritte sind zur Erzeugung des Hohlraumes oder der Hohlräume nicht erforderlich.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Turbinenläufers mit Merkmalen wie oben beschrieben, ist gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

- Bereitstellen eines Nabenbasisbauteils aus einem Stahlwerkstoff mit einer Laufradplattform;
 - Bereitstellen einer Läuferwelle aus einem Stahlwerkstoff;
 - schichtweises Aufbauen des Turbinenrades auf die Laufradplattform mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens unter Verwendung eines pulverförmigen hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffs ;
 - Zusammenführen und zentriertes Ausrichten von Turbinenlaufrad mit Nabenbasisbauteil und Läuferwelle durch Aufspannen der Werkstücke in einer dafür eingerichteten Vorrichtung;
 - Verbinden eines Läuferwellenendes der Läuferwelle mit dem Nabenbasisbauteil,
 - Freigabe des Turbinenläufers aus der Vorrichtung.
- Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass es die Herstellung nahezu beliebiger Turbinenlaufradgeometrien aus einem hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoff ermöglicht und gleichzeitig eine stabile, zuverlässige Verbindung zwischen dem Turbinenlaufrad und einem Nabenbasisbauteil und zwischen dem Nabenbasisbauteil und einer Stahl-Läuferwelle ermöglicht.

Eine besonders vorteilhaften Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers ist gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

- Bereitstellen eines Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteils aus einem Stahlwerkstoff mit einer Laufradplattform;
- schichtweises Aufbauen des Turbinenrades auf die Laufradplattform mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens unter Verwendung eines pulverförmigen hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffs. Bei dieser Ausprägung des Verfahrens wird auf die Bereitstellung eines separaten Nabenbasisbauteils verzichtet und stattdessen ein kombiniertes Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil bereitgestellt, das an einem Läuferwellenende eine Laufradplattform aufweist, auf die das Turbinenlaufrad mittels des Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens direkt aufgebaut wird.

Dies hat den Vorteil, dass keine zusätzliche Verbindung zwischen Läuferwelle und Nabenbasisbauteil erforderlich ist. Dadurch wird die Teileanzahl und die Anzahl der Fertigungs- und Montageschritte und somit die Kosten signifikant reduziert sowie eine mögliche Verbindungs-Schwachstelle eliminiert wodurch die Zuverlässigkeit des Turbinenläufers verbessert wird.

In weiterer Ausführung des Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers, erfolgt das Aufbauen des Turbinenrades in einem schichtweisen Materialauftrag, wobei jeweils eine Schicht eines pulverförmigen hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffs auf die Laufradplattform oder eine zuvor erzeugte Werkstückschicht eines auf der Laufradplattform bereits aufgebauten Turbinenlaufradabschnitts aufgebracht wird und mit dem jeweiligen Untergrund mit Hilfe eines gesteuerten Elektronenstrahls selektiv entsprechend des jeweiligen Querschnitts der gewünschten Werkstückkontur verschmolzen wird. Dabei wird die erste Schicht des pulverförmigen hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffs mit der Oberfläche der Laufradplattform, die dem Turbinenlaufrad zugewandt ist, verschmolzen. Nach der Verfestigung dieser ersten Schicht erfolgt ein erneuter schichtweiser Materialauftrag mit pulverförmigem hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffs auf die zuvor erzeugte Schicht. Die neu aufgetragene Schicht wird nun wiederum mittels des Elektronenstrahls aufgeschmolzen und mit der darunter liegenden Schicht verschmolzen. Dabei überstreicht der Elektronenstrahl genau die Querschnittsfläche des schichtweisen Materialauftrages, die der vorgegebenen Werkstückkontur in dieser Werkstückschicht entspricht.

In weiterer Fortführung des zuvor beschriebenen Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers wird der schichtweise Materialauftrag und das selektive Verschmelzen des pulverförmigen hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffs in einzelnen Schichten so oft wiederholt, bis das Turbinenlaufrad vollständig aufgebaut ist.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass urformend, also ohne nachträgliche Materialabtragende Verfahren, ein sehr komplexes

Werkstück, in diesem Fall ein Turbinenlaufrad mit Laufradschaufeln, Laufradkörper sowie nahezu frei gestaltbaren Hohlräumen innerhalb des Laufradkörpers hergestellt werden kann.

- 5 In einer weiteren Ausführung des Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers mit Turbinenlaufrad, Nabenbasisbauteil und Läuferwelle, erfolgt das Verbinden des Nabenbasisbauteils mit dem Läuferwellenende der Läuferwelle mittels eines Reibschweißverfahrens oder eines Elektronenstrahl-Schweißverfahrens. Dies hat den Vorteil, dass mittels dieser bekannten, gut beherrschbaren und automatisierbaren Schweißverfahren besonders zuverlässige Verbindungen zwischen Läuferwelle und Nabenbasisbauteil auch in Großserienfertigung erstellt werden können.
- 10
- 15 In einer weiteren Ausführung des Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers wird in einem zusätzlichen Verfahrensschritt eine zentrisch angeordnete Bohrung in dem Nabenbasisbauteil oder in dem Läuferwellenende der Läuferwelle oder in der Laufradplattform des kombinierten Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteils erzeugt. Dies erfolgt in dem Läuferwellenende als Sacklochbohrung oder im Nabenbasisbauteil als Durchgangsbohrung vorteilhaft vor dem Verbinden der Läuferwelle mit dem Nabenbasisbauteil oder im Falle eines kombinierten Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteils vor dem schichtweisen Aufbauen des
- 20
- 25 Turbinenlaufrades als Sacklochbohrung in die Laufradplattform bis in die Läuferwelle hinein.

Der so im Übergang zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle erzeugte Hohlraum wirkt als Wärmedrossel und reduziert dadurch die Wärmeübertragung und die Maximaltemperatur der Läuferwelle im Betrieb des Turbinenläufers zum Beispiel in einem Abgasturbolader.

30

In einer weiteren Ausführung des Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers ist die hochwarmfeste Metalllegierung des Turbinenlaufrads eine TiAl-Legierung oder eine Ni-Basis-Legierung und ist der Stahl der Läuferwelle und des Nabenbasisbauteils oder des kombinierten Nabenbasis-Läuferwel-

35

len-Bauteils ein niedriglegierter oder hochlegierter Vergütungsstahl oder ein austenitischer Stahl. Dies gewährleistet eine optimierte Abstimmung der Werkstoffeigenschaften auf die am Turbinenläufer auftretenden sehr unterschiedlichen Belastungsfälle.

Die speziellen Merkmale der einzelnen dargestellten Ausführungen des Turbinenläufers und die Verfahrensmerkmale des Verfahrens zur Herstellung des Turbinenläufers sind, soweit sie sich nicht explizit gegenseitig ausschließen auch miteinander kombinierbar, wodurch sich weitere, nicht explizit dargestellte Ausführungen des Turbinenläufers und des Verfahrens ergeben können.

Ein paar konkrete Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand der Darstellungen in der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 bis Fig. 4

jeweils eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Turbinenläufers in vereinfachter, nicht maßstäblicher Darstellung;

Fig. 5 eine stark vereinfacht dargestellte Einrichtung zur Durchführung des Aufbringens der Verbindungswerkstofflage mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens;

Fig. 6 A) ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers mit separatem Nabenbasisbauteil;

Fig. 6 B) ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers mit kombiniertem Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil und

Fig. 7 ein Ablaufdiagramm eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens zum Aufbauen eines Turbinenlaufrades auf die Laufradplattform eines Nabenbasisbauteils.

Funktions- und Benennungsgleiche Gegenstände sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

In Figur 1 ist ein erfindungsgemäßer Turbinenläufer 1 in vereinfachter Darstellung gezeigt. Dieser weist ein Turbinenlaufrad 2 mit einem Nabenbasisbauteil 3 und eine Läuferwelle 4 mit einem Läuferwellenende 4a auf. Das Turbinenlaufrad 2 ist mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens aus einer hochwarmfesten Metalllegierung, zum Beispiel aus einer Ti-Al-Legierung, in einem schichtweisen Materialauftrag hergestellt und weist einen Laufradkörper 2b mit einer Laufradbeschaukelung 2a auf der Vorderseite (in der Figur links) auf. Der schichtweise Aufbau des Turbinenrads 2 ist in den Figuren 1 bis 5 durch gestrichelte Linien quer zur Turbinenläuferachse 1a symbolisch dargestellt.

Das Nabenbasisbauteil weist eine Laufradplattform 3a, auf der das Turbinenlaufrad 2 schichtweise aufgebaut ist, sowie eine Laufradnabe 3b in Form eines konzentrisch auf der Rückseite (in der Figur rechts) des Nabenbasisbauteils 3 angeordneten Zylinderabschnittes auf. Die Läuferwelle ist hier ebenfalls vereinfacht dargestellt, besteht beispielsweise aus einem niedriglegierten oder hochlegierten Vergütungsstahl oder einem austenitischen Stahl, und weist an ihrem Läuferwellenende 4a eine Sacklochbohrung 7 auf, die quasi im Übergang zwischen Laufradnabe 3b und Läuferwelle 4 einen Hohlraum bildet und so als Drosselstelle für den Wärmeübergang vom Turbinenlaufrad 2 auf die Läuferwelle 4, als sogenannte Wärmedrossel wirkt. In alternativen Ausführungen des Turbinenläufers 1 kann eine solche Wärmedrossel auch durch eine entsprechende zentrisch angeordnete Durchgangsbohrung in dem Nabenbasisbauteil 3 (nicht dargestellt) gebildet werden. Weiterhin kann die Läuferwelle 4 im konkreten Fall Stufen, Absätze, Verjüngungen und ähnlich Merkmale aufweisen (ebenfalls nicht dargestellt).

Die Verbindung zwischen der Laufradnabe 3b des Nabenbasisbauteils 3 und dem Läuferwellenende 4a der Läuferwelle 4 ist in Figur 1 als Schweißverbindung 6 ausgeführt, insbesondere kann

dies eine in einem Reibschweißverfahren oder einem Elektro-
nenstrahl-Schweißverfahren erzeugte Schweißverbindung sein,
aber auch andere Schweißverbindungen wie eine im Wieder-
stands-Schweißverfahren oder im Laser-Schweißverfahren her-
5 gestellte Schweißverbindung sind möglich.

Figur 2 zeigt eine spezielle Ausführung des erfindungsgemäßen
Turbinenläufers 1, bei der das Nabenbasisbauteil 3 und die
Läuferwelle 4 in einem gemeinsamen, einstückigen Nabenba-
10 sis-Läuferwellen-Bauteil 3, 4 aus einem gemeinsamen Stahl-
werkstoff zusammengefasst, insbesondere in einem Stück gefertigt
sind. Das Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil 3, 4 weist an einem
Ende (in der Zeichnung links) eine einstückig angeformte
Laufradplattform 3a auf, auf der das Turbinenlaufrad 2 direkt
15 aufgebaut ist. Auch bei dieser Ausführung ist eine Wärmedrossel
im Schaft des Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil 3, 4 in Form einer
Sacklochbohrung 7, die sich durch die Laufradplattform 3a in das
Läuferwellenende 4a hineinerstreckt. Was die übrigen Merkmale
des Turbinenläufers 1 in Figur 2 betrifft, so stimmen diese mit
20 denen des Turbinenläufers 1 aus Figur 1 überein.

Figur 3 zeigt eine weitere Ausführung des erfindungsgemäßen
Turbinenläufers 1 aus Figur 2 in einer Teilschnittdarstellung,
bei der der Laufradkörper 2b jedoch einen Hohlraum 8 aufweist,
25 wodurch die Masse des Turbinenlaufrades 2 und somit auch das
Massenträgheitsmoment gegenüber den Ausführungen aus Figur 1 und
2 weiter reduziert ist.

Der Hohlraum 8 ist durch eine Wandung des hochwarmfesten Le-
30 gierungswerkstoffs des Turbinenlaufrades 2 hin zur Laufrad-
plattform 3a geschlossen. Die Kontur des Hohlraumes 8 folgt der
Kontur des Laufradkörpers 2b in einem Abstand, wodurch der
Laufradkörper 2b als einen Hohlkörper mit bestimmter, dem Abstand
entsprechenden Wandstärke ausgebildet ist. Der Hohlraum 8 weist
35 weiterhin eine Öffnung 8a zum Außenraum des Turbinenlaufrades 1
hin auf, um nach Fertigstellung des Turbinenlaufrades 1 den im
Herstellprozess im Hohlraum 8 verbliebenen, pulverförmigen
Metalllegierungswerkstoff entfernen zu können. Weiterhin sind in

dem Hohlraum 8 im Laufradkörper 2b Stütz- und Versteifungsstrukturen 9 ausgebildet, die hier zum Beispiel als flächige Radialspeichen ausgebildet sind.

5 Was die übrigen Merkmale des Turbinenläufers 1 in Figur 3 betrifft, so stimmen diese mit denen des Turbinenläufers 1 aus Figur 1 oder Figur 2 überein. Insbesondere kann beispielsweise zusätzlich eine Sacklochbohrung 7 (in Fig. 3 nicht dargestellt) in dem kombinierten Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil 3, 4, wie in
10 der Darstellung in Figur 2 gezeigt, als zusätzliche Wärmedrossel angeordnet sein.

Figur 4 zeigt eine weitere Ausführung des erfindungsgemäßen Turbinenläufers 1 aus Figur 2 in einer Teilschnittdarstellung,
15 bei der der Laufradkörper 2b jedoch mehrere miteinander verbunden näherungsweise kugelförmige Hohlräume 8 aufweist. Die Hohlräume können jedoch prinzipiell nahezu beliebige Geometrien aufweisen.

Solche Hohlräume 8 können erst durch Einsatz des Erfindungsgemäßen Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahren direkt beim
20 schichtweisen Aufbau des Turbinenlaufrades 2 besonders einfach auch als nahezu geschlossener Hohlraum 8 ausgebildet werden. Auch dabei ist jedoch zu beachten, dass zumindest eine Öffnung 8a zum Außenraum des Turbinenlaufrades 2 hin und bei mehreren Hohlräumen
25 eine Verbindung zwischen diesen vorhanden ist, um nach Fertigstellung des Turbinenlaufrades den noch in den Hohlräumen befindlichen, nicht aufgeschmolzenen, pulverförmigen Metalllegierungswerkstoff entfernen zu können.

30 So können insbesondere auch amorphe Stützstrukturen ausgebildet sein.

Figur 5 zeigt eine stark vereinfacht dargestellte Einrichtung zur Durchführung des Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens zum
35 schichtweisen Aufbau eines Turbinenlaufrades 2 auf einer Laufradplattform 3a eines Nabenbasisbauteils 3 oder eines Nabenbasis-Läuferwelle-Bauteils 3, 4. Diese Einrichtung besteht im Wesentlichen aus einem Prozessbehälter 101 mit einer darin

angeordneten absenkbaren Werkstückplattform 102. Auf der Werkstückplattform 102 ist ein Basiswerkstück, in diesem Fall das Nabenbasisbauteil 3 (hier nicht dargestellt) oder das Nabenbasis-Läuferwelle-Bauteil 3, 4 so befestigt, dass die Lauf-
5 radplattform 3a oben liegt. Das gezeigte Turbinenlaufrad 2 ist bereits weitgehend aufgebaut und so weit im Prozessbehälter 101 abgesenkt, dass sich der zuletzt aufgeschmolzene schichtweise Materialauftrag 108 auf der Höhe der Oberkante des Prozess-
behälters 101 befindet. Der Prozessbehälter 101 ist mit einem
10 pulverförmigen Metalllegierungswerkstoff 107 angefüllt, in dem das Turbinenlaufrad 2 eingebettet ist. Der pulverförmigen Metalllegierungswerkstoff 107 besteht dabei aus demjenigen Material aus dem das Turbinenlaufrad 2 bestehen soll. In diesem Fall ist der entsprechende Werkstoff zum Beispiel eine Ti-
15 Al-Legierung (Titan-Aluminid) oder eine Ni-Basis-Legierung (Nickel).

Oberhalb der durch die Oberkannte des Prozessbehälters 101 gebildeten Arbeitsebene 101a ist ein Rakelschlitten 103 mit
20 Rakeln 103a angeordnet, der mit dem gleichen pulverförmigen Metalllegierungswerkstoff 107 beladen ist und auf einer Rakelschlittenführung 104 parallel zur Arbeitsebene 101a über den Prozessbehälter 101 in beiden, durch die Rakelschlittenführung vorgegebenen Richtungen, hinwegbewegt (in der Figur durch einen
25 Doppelpfeil angedeutet) werden kann. Dabei wird mittels des im Rakelschlitten 103 befindlichen pulverförmigen Metalllegierungswerkstoff 107 der schichtweise Materialauftrag 108 im Prozessbehälter 101 mit der Arbeitsebene 101a abgeglichen, also der Prozessbehälter 101 genau soweit aufgefüllt, und die
30 Oberfläche des pulverförmigen Metalllegierungswerkstoff 107 mit den Rakeln 103a des Rakelschlittens 103 plan auf dem Niveau der Arbeitsebene 101a abgestrichen.

Weiter oberhalb der Arbeitsebene 101a des Prozessbehälters 101
35 ist eine Elektronenstrahlquelle 105 mit einer vorgeschalteten Strahlablenkeinheit 106 angeordnet. Die Strahlablenkeinheit ist mittels einer Steuereinheit 106a so ansteuerbar, dass der Elektronenstrahl 105a auf der Arbeitsebene 101a eine gewünschte

Kontur oder Fläche sukzessive abfährt bzw. überstreicht und dabei die oberste Lage des pulverförmigen Metalllegierungswerkstoffes 107 aufschmilzt bzw. mit der darunter liegenden Fläche eines Basiswerkstückes, hier der Laufradplattform, oder einer zuvor aufgeschmolzenen Metallschicht verschmilzt.

Der Ablauf des Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers mit dem oben beschriebenen Aufbau aus Turbinenlaufrad, Nabebasisbauteil und Läuferwelle erfolgt in mehreren Prozessschritten, die in Figur 6 A) anhand eines einfachen Ablaufdiagramms dargestellt sind.

Zu Beginn des Verfahrens steht die Bereitstellung eines eine Laufradplattform 3a aufweisenden Nabebasisbauteils 3 aus einem Stahlwerkstoff was im Ablaufdiagramm durch Schritt S1 dargestellt ist.

Parallel zu Schritt S1 kann im Schritt S2 die Bereitstellung der Läuferwelle 4 ebenfalls aus einem Stahlwerkstoff erfolgen, die ein Läuferwellenende 4a aufweist.

Die an die Schritte S1 und S2 anschließenden Schritte S1a bzw. S2a, die im Ablaufdiagramm gestrichelt dargestellt sind, stellen das Einbringen einer jeweiligen Bohrung in das Nabebasisbauteile bzw. in das Läuferwellenende dar, um eine Wärmedrosselstelle auszubilden. Die gestrichelte Darstellung deutet darauf hin, dass entweder in das Nabebasisbauteil 3 oder in das Läuferwellenende 4a oder in das Nabebasisbauteil 3 und in das Läuferwellenende 4a oder auch weder in das Nabebasisbauteil 3 noch in das Läuferwellenende 4a eine solche Bohrung eingebracht werden kann.

In dem auf den Schritt S1 und ggf. S1a folgenden Schritt S3 erfolgt dann der schichtweise Aufbau des Turbinenlaufrades 2 auf die Laufradplattform 3a des Nabebasisbauteils 3 mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens. Eine detailliertere Darstellung des Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens erfolgt anhand von Figur 7.

Folgend auf die Schritte S3 und S2 (S2a) erfolgt in Schritt S4 das Zusammenführen und das zentrierte Ausrichten von Turbinenlaufrad 2 mit Nabenbasisbauteil 3 und der Läuferwelle 4 durch Aufspannen der Werkstücke in einer dafür eingerichteten Vorrichtung.

In Schritt S5 erfolgt dann das Verbinden des Nabenbasisbauteils, insbesondere der Laufradnabe 3b des Nabenbasisbauteils 3 mit dem Läuferwellenende 4a der Läuferwelle 4. Hierzu können verschiedene, dem Fachmann bekannte Verfahren, wie zum Beispiel ein Reib-Schweißverfahren, ein Elektronenstrahl-Schweißverfahren, ein Widerstands-Schweißverfahren oder ein Laser-Schweißverfahren, zum Einsatz kommen.

Im Anschluss an den Schritt S5 erfolgt im Schritt S6 die Freigabe des fertiggestellten Turbinenläufers aus der Vorrichtung.

Figur 6 B) zeigt den Ablauf des Verfahrens zur Herstellung eines Turbinenläufers mit einem kombinierten Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil 3, 4. Hier sind im Verfahrensschritt S1/2 die Bereitstellung des Nabenbasisbauteils 3 und der Läuferwelle 4 zusammengefasst, da das Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil 3, 4 als einstückiges Bauteil bereitgestellt wird.

Der Schritt S1/2a, der im Ablaufdiagramm gestrichelt dargestellt ist, stellt das Einbringen einer Bohrung in das Nabenbasisbauteil bzw. in das Läuferwellenende dar, um eine Wärmedrosselstelle auszubilden. Die gestrichelte Darstellung deutet darauf hin, dass dieser Vorgang auch entfallen kann, sofern eine Wärmedrosselstelle nicht vorgesehen ist.

Im folgenden Schritt S3 erfolgt dann der schichtweise Aufbau des Turbinenlaufrades 2 auf die Laufradplattform 3a des Nabenbasis-Läuferwelle-Bauteils 3, 4, mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens. Eine detailliertere Darstellung des Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens erfolgt anhand von Figur 7. Im Anschluss an den Schritt S3 erfolgt im Schritt S6 die

Entnahme des fertiggestellten Turbinenläufers aus dem Prozessbehälter 101.

Mit Hilfe des Ablaufdiagramms in Figur 7 wird nun unter Bezugnahme auf die Vorrichtung in Figur 5 der Ablauf des Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens zum Aufbau des Turbinenlaufrades 2 auf die Laufradplattform 3a eines Nabenbasisbauteils 3 oder eines Nabenbasis-Läuferwelle-Bauteils 3, 4, gemäß Schritt S3 der zuvor erläuterten Verfahren, näher erläutert.

In Schritt P1 wird zunächst das Basisbauteil, hier ein Nabenbasisbauteil 3 bzw. ein Nabenbasis-Läuferwelle-Bauteil 3, 4 mit seiner Laufradplattform 3a nach oben auf der Werkstückplattform 102 befestigt.

Anschließend wird dann in Schritt P2 die Werkstückplattform 102 mit dem Basisbauteil so weit in den Prozessbehälter 101 abgesenkt, dass die Laufradplattform 3a genau um die Dicke eines schichtweisen Materialauftrags 108 des schichtweise aufzutragenden pulverförmigen Metalllegierungswerkstoffs 107, unterhalb der Arbeitsebene 101a positioniert ist und der Prozessbehälter 101 wird mit Metallpulver bis auf die Arbeitsebene 101a aufgefüllt.

In dem daran anschließenden Schritt P3 wird dann mittels des Rakelschlittens 103 und des darin befindlichen pulverförmigen Metalllegierungswerkstoffs 107 die Metallpulver-Oberfläche im Prozessbehälter mit der Arbeitsebene 101a abgeglichen, also der Prozessbehälter genau soweit aufgefüllt und die Metallpulver-Oberfläche mit den Rakeln 103a des Rakelschlittens 103 plan auf dem Niveau der Arbeitsebene 101a abgestrichen. Dadurch entsteht auch auf der Laufradplattform 3a des Basisteils ein schichtweiser Materialauftrag 108 mit pulverförmigen Metalllegierungswerkstoffs 107.

Im folgenden Schritt P4 wird nun der schichtweise Materialauftrag 108, also die oberste Pulverschicht zunächst vorgewärmt zur Vorbereitung des folgenden Prozessschrittes.

Im Schritt P5 erfolgt dann das selektive Aufschmelzen/Ver-
schmelzen des obersten schichtweise Materialauftrags 108 des
pulverförmigen Metalllegierungswerkstoffs 107 mit der darunter
liegenden Werkstückfläche, also der Laufradplattform 3a oder in
5 der Folge mit einer darauf bereits in einem vorhergehenden
schichtweisen Materialauftrag aufgebrauchten Werkstoffschicht.
Dies erfolgt durch gesteuertes sukzessives Abfahren der ge-
wünschten Kontur bzw. Überstreichen der gewünschten Quer-
schnittsfläche, die das aufzubauende Turbinenlaufrad in dieser
10 Schichtebene aufweist, bei gleichzeitiger Steuerung/Regelung
der Elektronenstrahlintensität.

Im darauffolgenden Schritt P6 kühlt nun der nunmehr mit der
darunterliegenden Schicht verschmolzene letzte schichtweise
15 Materialauftrag 108 ab und verfestigt sich dabei.

Folgend auf Schritt P6 wird nun im Schritt E1 festgestellt, ob
der Aufbau des gewünschten Turbinenlaufrades 2 komplett erreicht
ist. Dies kann zum Beispiel anhand einer Zählung der bereits
20 aufgetragenen Werkstoffschichten erfolgen.

Im Falle dass der Aufbau des gewünschten Turbinenlaufrades 2 noch
nicht erreicht ist, wird in einem folgenden Schritt P7 die
Werkstückplattform 102 um den Betrag der Dicke eines weiteren
25 schichtweisen Materialauftrages 108 nach unten, also in den
Prozessbehälter 101 hinein, abgesenkt und es erfolgt an-
schließend ein Rücksprung im Verfahrensablauf zum Schritt P3 und
die Schritte P3 bis E1 werden erneut durchlaufen. Dies wird so
oft wiederholt, bis der Aufbau des gewünschten Turbinenlaufrades
30 2 abgeschlossen ist.

Im Falle dass der Aufbau abgeschlossen ist, wird in dem auf
Schritt E1 folgenden Schritt P8 das fertiggestellte Werkstück,
also das auf das Nabenbasisteil 3 aufgebaute Turbinenlaufrad 2
35 oder der fertiggestellte Turbinenläufer 1 entnommen.

Sämtliche beschriebenen Abläufe können dabei automatisiert mit
Hilfe entsprechender Antriebsvorrichtungen und einer zentralen

programmierbaren Steuer-/Regel-Einrichtung durchgeführt werden.

Patentansprüche

1. Turbinenläufer (1) für eine Abgasturbine, der ein Turbinenlaufrad (2) bestehend aus einem hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoff und ein Nabenbasisbauteil (3) sowie eine
5 Läuferwelle (4) bestehend aus einem Stahlwerkstoff aufweist, dadurch gekennzeichnet,
dass das Turbinenlaufrad (2) aus einem, mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens schichtweise auf
10 einer Laufradplattform (3a) des Nabenbasisbauteils (3) aufgebracht, hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoff besteht und ein Läuferwellenende (4a) der Läuferwelle (4) mit dem Nabenbasisbauteil (3) verbunden ist.
- 15 2. Turbinenläufer (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der hochwarmfeste Metalllegierungswerkstoff des Turbinenlaufrads (2) eine TiAl-Legierung oder eine Ni-Basis-Legierung ist und dass der Stahlwerkstoff des Nabenbasisbauteils (3) und der Läuferwelle (4) ein nied-
20 riglegierter oder hochlegierter Vergütungsstahl oder ein austenitischer Stahl ist.
3. Turbinenläufer (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Nabenbasisbauteil (3) und die Läuferwelle aus
25 verschiedenen Stahlwerkstoffen bestehen.
4. Turbinenläufer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Nabenbasisbauteil und ein Läuferwellenende der Läuferwelle mittels einer Schweißverbindung, insbesondere einer
30 Reib-Schweißverbindung oder eine Elektronenstrahl-Schweißverbindung verbunden sind.
5. Turbinenläufer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Nabenbasisbauteil und die Läuferwelle aus dem gleichen
35 Stahlwerkstoff bestehen und ein einstückiges Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteil bilden.

6. Turbinenläufer nach einem der Ansprüche 1 bis 5 dadurch gekennzeichnet, dass das Nabenbasisbauteil oder das mit dem Nabenbasisbauteil verbundene Läuferwellenende eine zentrisch angeordnete Bohrung aufweist, die im Übergang zwischen
5 Turbinenlaufrad und Läuferwelle als Wärmedrossel wirkt.
7. Turbinenläufer nach einem der Ansprüche 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, dass das Turbinenlaufrad einen Laufradkörper mit einem direkt im Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahren
10 beim schichtweisen Aufbau des Turbinenlaufrades erzeugten Hohlraum oder mehreren Hohlräumen, insbesondere einem oder mehreren geschlossenen Hohlräumen aufweist.
8. Turbinenläufer nach Anspruch 7 dadurch gekennzeichnet, dass
15 in dem Hohlraum oder in den mehreren Hohlräumen Stützstrukturen oder Versteifungsstrukturen angeordnet sind, die insbesondere als flächige oder stabförmige Speichen oder amorphe Stützstrukturen ausgebildet sind.
- 20 9. Verfahren zur Herstellung eines Turbinenläufers (1) nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:
- Bereitstellen eines Nabenbasisbauteils (3) aus einem Stahlwerkstoff mit einer Laufradplattform (3a);
 - 25 - Bereitstellen einer Läuferwelle (4) aus einem Stahlwerkstoff;
 - schichtweises Aufbauen des Turbinenlaufrades (2) auf die Laufradplattform (3a) mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens unter Verwendung eines pulverförmigen
30 hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffes (107);
 - Zusammenführen und zentriertes Ausrichten von Turbinenlaufrad (2) mit Nabenbasisbauteil (3) und Läuferwelle (4) durch Aufspannen der Werkstücke in einer dafür eingerichteten Vorrichtung;
 - 35 - Verbinden eines Läuferwellenendes (4a) der Läuferwelle (4) mit dem Nabenbasisbauteil (3),
 - Freigabe des Turbinenläufers (1) aus der Vorrichtung.

10. Verfahren zur Herstellung eines Turbinenläufers (1) nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

- Bereitstellen eines Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteils (3, 4) aus einem Stahlwerkstoff mit einer Laufradplattform (3a);
- schichtweises Aufbauen des Turbinenrades (2) auf die Laufradplattform (3a) mittels eines Elektronenstrahl-Aufschmelzverfahrens unter Verwendung eines pulverförmigen hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffs (107).

10

11. Verfahren zur Herstellung eines Turbinenläufers (1) nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufbauen des Turbinenrades (2) in einem schichtweisen Materialauftrag (108) erfolgt, wobei jeweils eine Schicht eines pulverförmigen hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffs (107) auf die Laufradplattform (3a) oder eine zuvor erzeugte Werkstückschicht eines auf der Laufradplattform (3a) bereits aufgebauten Turbinenlaufradabschnitts aufgebracht wird und mit dem jeweiligen Untergrund mit Hilfe eines gesteuerten Elektronenstrahls (105a) selektiv entsprechend des jeweiligen Querschnitts der gewünschten Werkstückkontur verschmolzen wird.

15

20

12. Verfahren zur Herstellung eines Turbinenläufers (1) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der schichtweise Materialauftrag (108) und das selektive Verschmelzen des pulverförmigen hochwarmfesten Metalllegierungswerkstoffs (107) in dieser Schicht so oft wiederholt wird, bis das Turbinenlaufrad (1) vollständig aufgebaut ist.

30

13. Verfahren zur Herstellung eines Turbinenläufers (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Verbinden des Nabenbasisbauteils (3) mit dem Läuferwellenende (4a) der Läuferwelle (4) mittels eines Reibschweißverfahrens oder eines Elektronenstrahl-Schweißverfahrens erfolgt.

35

14. Verfahren zur Herstellung eines Turbinenläufers (1) nach Anspruch 9 oder 10, gekennzeichnet durch den zusätzlichen Verfahrensschritt:

- Erzeugen einer zentrisch angeordnete Bohrung (7) in dem Nabenbasisbauteil (3) oder in dem Läuferwellenende (4a) der Läuferwelle (4),

vor dem Verbinden der Läuferwelle (4) mit dem Nabenbasisbauteil (3) oder vor dem schichtweisen Aufbauen des Turbinenlaufrades (2) auf der Laufradplattform (3a).

15. Verfahren zur Herstellung eines Turbinenläufers (1) nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die hochwarmfeste Metalllegierung des Turbinenlaufrads (2) eine TiAl-Legierung oder eine Ni-Basis-Legierung ist und dass der Stahl der Läuferwelle (4) und des Nabenbasisbauteils (3) oder des kombinierten Nabenbasis-Läuferwellen-Bauteils (3, 4) ein niedriglegierter oder hochlegierter Vergütungsstahl oder ein austenitischer Stahl ist.

1/4

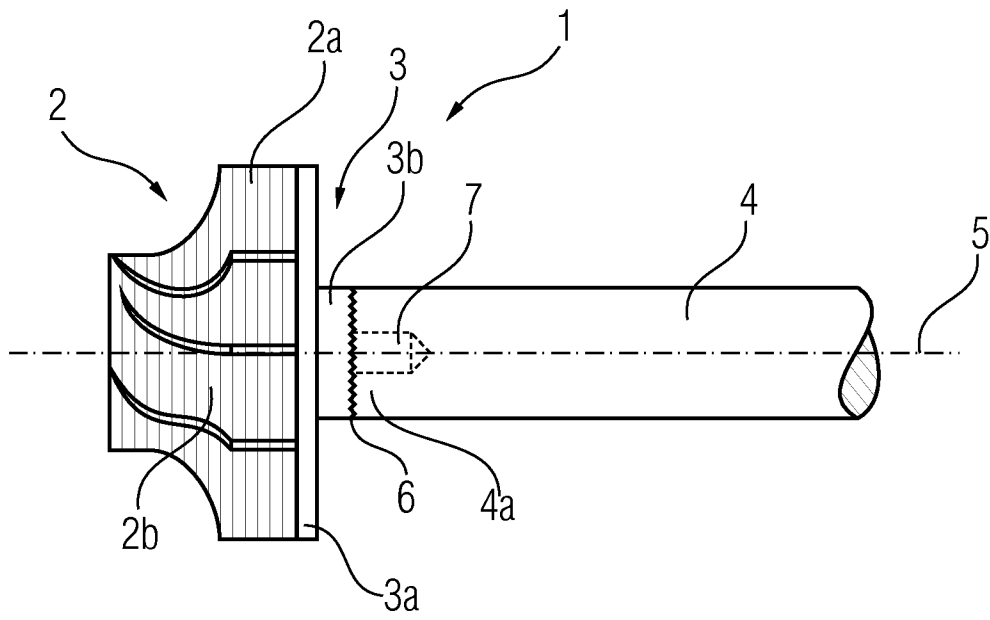


FIG 1

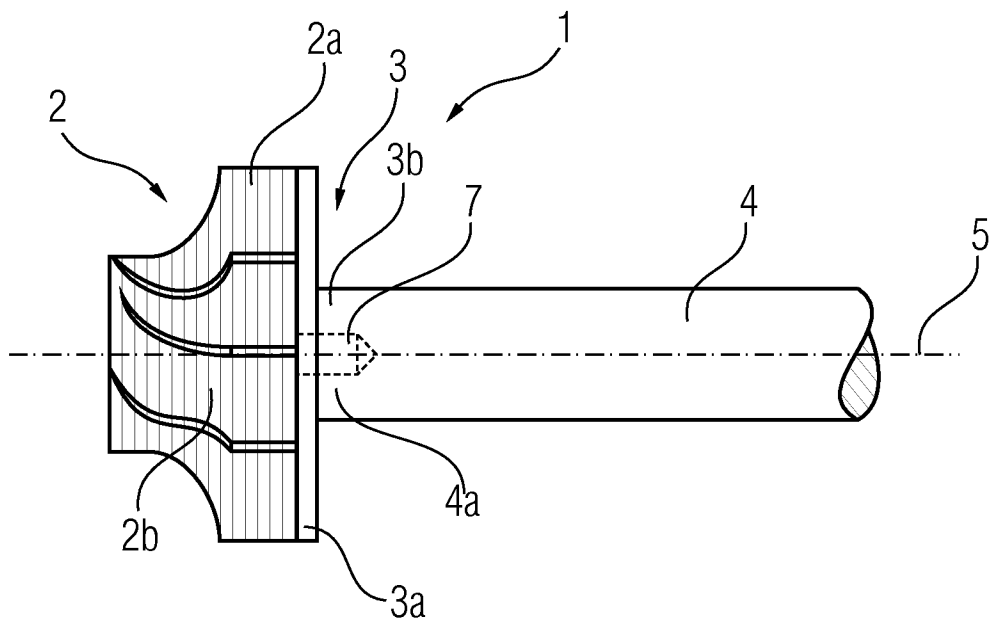


FIG 2

2/4

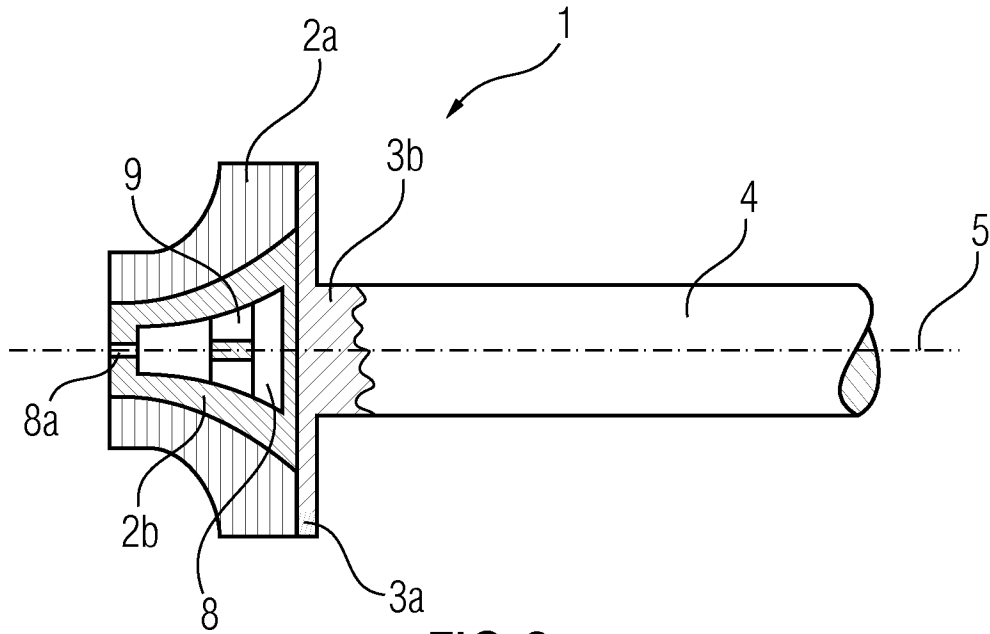


FIG 3

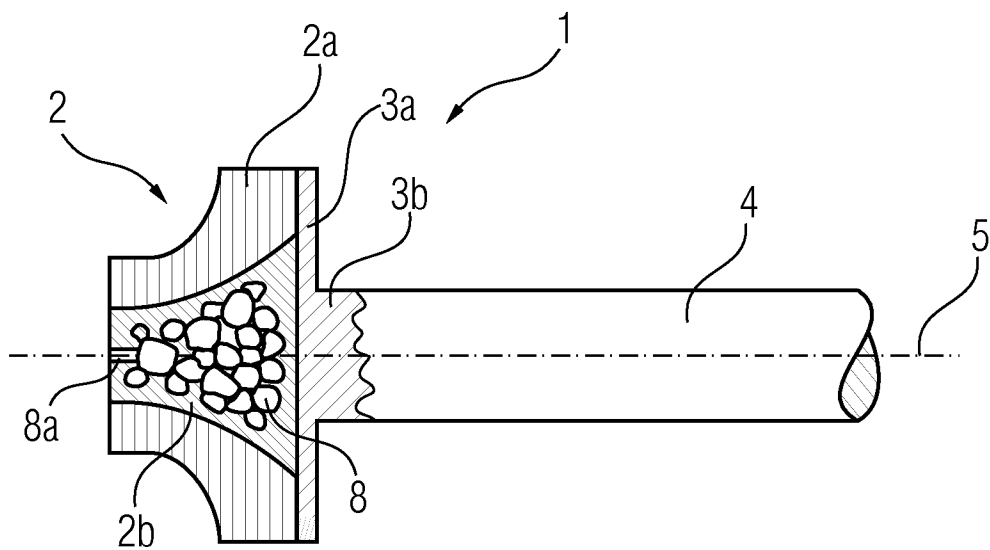


FIG 4

3/4

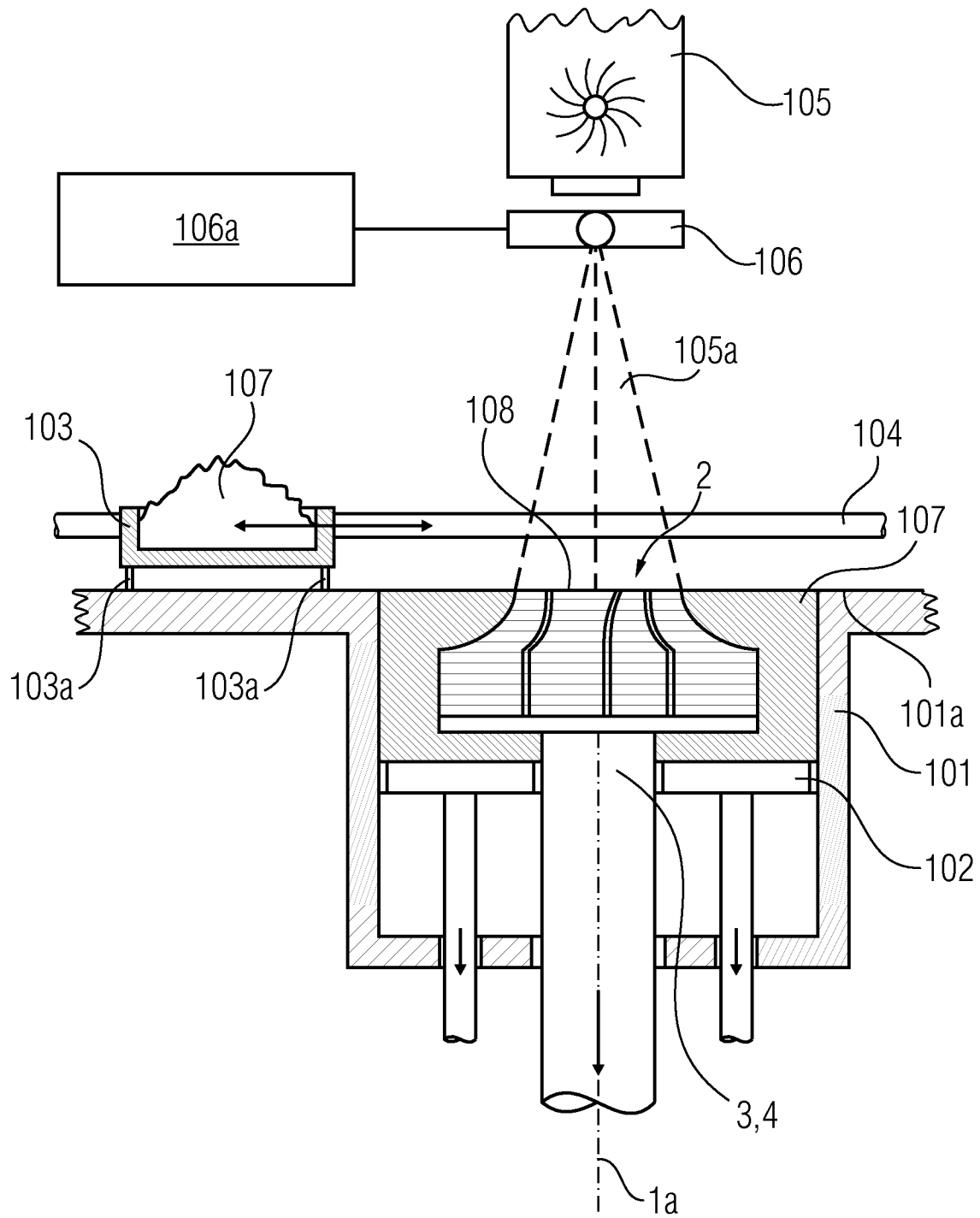


FIG 5

4/4

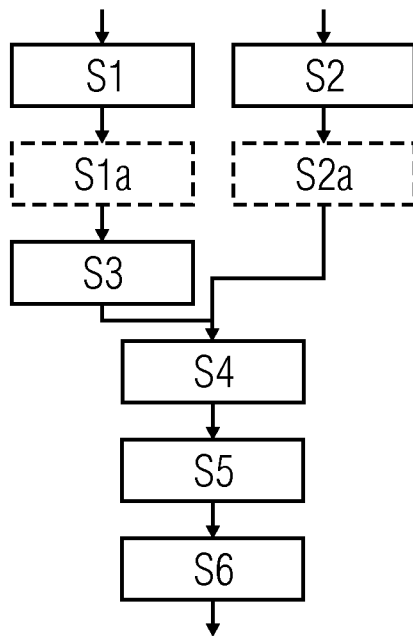


FIG 6 A

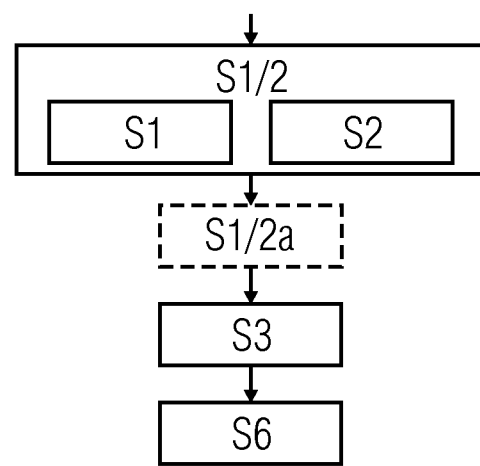


FIG 6 B

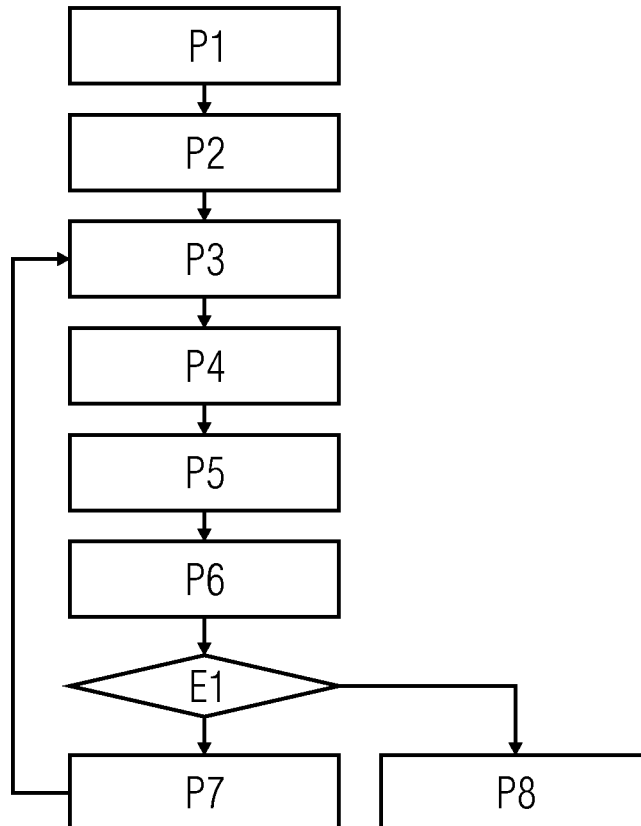


FIG 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/072592

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K15/00 F01D5/02
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)
B23K F01D

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)

EP0-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.
A	DE 10 2010 006300 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM JUELICH GMBH [DE]) 4 August 2011 (2011-08-04) abstract; figures -----	1-15
A	DE 10 2008 059617 A1 (BOSCH MAHLE TURBO SYSTEMS GMBH [DE]) 2 June 2010 (2010-06-02) claims; figures -----	1-15
A	EP 2 410 137 A1 (SIEMENS AG [DE]) 25 January 2012 (2012-01-25) claims; figures -----	1-15

☐

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 March 2015

Date of mailing of the international search report

17/03/2015

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

Caubet, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/072592

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102010006300 A1	04-08-2011	DE 102010006300 A1	04-08-2011
		WO 2011091779 A2	04-08-2011

DE 102008059617 A1	02-06-2010	NONE	

EP 2410137 A1	25-01-2012	CN 103026008 A	03-04-2013
		EP 2410137 A1	25-01-2012
		EP 2596217 A2	29-05-2013
		WO 2012010512 A2	26-01-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/072592

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B23K15/00 F01D5/02
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B23K F01D

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

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

EP0-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2010 006300 A1 (FORSCHUNGSZENTRUM JUELICH GMBH [DE]) 4. August 2011 (2011-08-04) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-15
A	DE 10 2008 059617 A1 (BOSCH MAHLE TURBO SYSTEMS GMBH [DE]) 2. Juni 2010 (2010-06-02) Ansprüche; Abbildungen -----	1-15
A	EP 2 410 137 A1 (SIEMENS AG [DE]) 25. Januar 2012 (2012-01-25) Ansprüche; Abbildungen -----	1-15

☐

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. März 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/03/2015

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

Caubet, J

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/072592

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102010006300 A1	04-08-2011	DE 102010006300 A1	04-08-2011
		WO 2011091779 A2	04-08-2011

DE 102008059617 A1	02-06-2010	KEINE	

EP 2410137 A1	25-01-2012	CN 103026008 A	03-04-2013
		EP 2410137 A1	25-01-2012
		EP 2596217 A2	29-05-2013
		WO 2012010512 A2	26-01-2012
