(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
3. Oktober 2013 (03.10.2013)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/143941 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 1/00 (2006.01) *F01D 5/02* (2006.01)
B23K 1/005 (2006.01) *F01D 5/06* (2006.01)
B23K 1/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/055824

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. März 2013 (20.03.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 205 043.4 29. März 2012 (29.03.2012) DE

(71) Anmelder: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH** [DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder: **KOCH, Achim**; Wiedmannstr. 39a, 93105 Tegernheim (DE). **MERENDA, Timo**; Stadtamhof 5, 93059 Regensburg (DE). **MEHNE, Philipp**; Schafweide 75, 68167 Mannheim (DE). **THOMAS, Martin**; Sandbreitenstr. 16, 93197 Zeitlarn-Laub (DE). **MÜNCH, Günter**; Fichteck 29, 67316 Carlsberg (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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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.

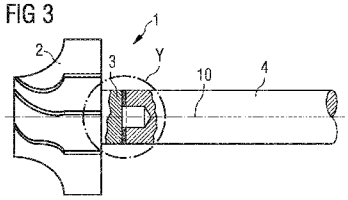
(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

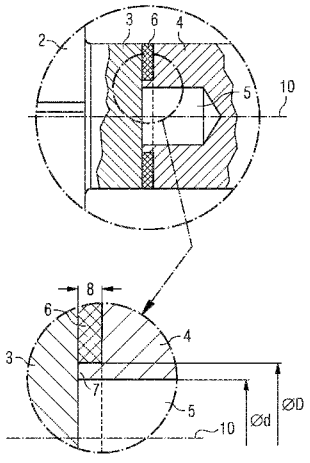
(54) **Title**: TURBINE ROTOR FOR AN EXHAUST-GAS TURBINE AND METHOD FOR PRODUCING THE TURBINE ROTOR

(54) **Bezeichnung** : TURBINENLÄUFER FÜR EINE ABGASTURBINE SOWIE EIN VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DES TURBINENLÄUFERS

FIG 3



AA
FIG 4 Einzelheit Y



AA Detail Y

(57) **Abstract**: The invention relates to a turbine rotor (1) for an exhaust-gas turbine and to a method for producing such a turbine rotor (1), wherein the turbine rotor (1) has a turbine impeller (2) made of a high-temperature-resistant metal alloy and a rotor shaft (4) made of steel, and the impeller hub (3) and the rotor shaft end are connected together in a cohesive manner (6) by means of a soldered connection. Between the end faces of the impeller hub (3) and of the rotor shaft end, a soldering gap filled with a solder alloy is arranged concentrically with the rotation axis of the turbine rotor, wherein the width of the soldering gap is previously determined by circularly peripheral removal of material on the end face of the impeller hub or the end face of the rotor shaft end, and the soldered connection is produced by means of electron beam soldering methods.

(57) **Zusammenfassung**: 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) aus einer hochwarmfesten Metalllegierung und eine Läuferwelle (4) aus Stahl aufweist und die Laufradnabe (3) und das Läuferwellenende mittels einer Lötverbindung stoffschlüssig (6) mit einander verbunden sind. Zwischen den Stirnflächen der Laufradnabe (3) und des Läuferwellenendes ist ein mit einer Lotlegierung gefüllter Lötspalt konzentrisch zur Turbinenläufer-Drehachse angeordnet, wobei die Lötspaltbreite durch einen kreisförmig umlaufenden Materialabtrag auf der Stirnfläche der Laufradnabe oder der Stirnfläche des Läuferwellenendes vorbestimmt ist und die Lötverbindung mittels Elektronenstrahl-Lötverfahren erzeugt wird.

WO 2013/143941 A1

RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

Turbinenläufer für eine Abgasturbine sowie ein Verfahren zur Herstellung des Turbinenläufers

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

Ein solcher Turbinenläufer besteht aus einem Turbinenrad und 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 Rotationsenergie auf ein mit dem Turbinenläufer verbundenes 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.

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.

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.

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 CO_2-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.

Ein Abgasturbolader weist dazu eine im Abgasstrang des Verbrennungsmotors angeordnete Turbine mit einem durch den Abgasstrom angetriebenen Turbinenläufer und einen im Ansaugtrakt angeordneten Verdichter mit einem 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 Lagereinheit 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 Beanspruchen 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 entgegen steht.

Bei den Turbinenlaufrädern werden deshalb vermehrt hochwarmfeste Metallegierungen, wie zum Beispiel Titan-Aluminim-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 Wärmeausdehnungskoeffizient dieser hochwarmfesten Metallle-gierungen dem von üblicherweise im Turbinenbau verwendeten Metallen sehr nahe, was Probleme aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnung zu vermeiden hilft. Praktisch eingesetzt werden intermetallische Gemische mit einem Haupanteil an Titan und Aluminium oder Nickel.

Wie beispielsweise auch aus der DE 10 2007 048 789 A1 bekannt ist, können bei den TiAl-Legierungen die konkreten Legierungszu-sammensetzungen durchaus variieren und auch weitere Bestandteile 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 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 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 Metallegierungen“ zusammengefasst.

Die Läuferwelle andererseits ist ein Teil des Lagerungssystems des Turbinenläufers und muss eine hohe Wechselbiegelast auf-nehmen 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.
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 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 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.

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 Zusammenhang insbesondere Schweißverbindungen und Lötverbindungen.

Wie zum Beispiel aus der DE 697 24 730 T2 bekannt, kann das in diesem Zusammenhang in Verbindung mit anderen Materialkombinationen 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 bewirkt, 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 TiAI mit dem Kohlenstoff, C, im Stahl auftreten, wodurch Titancarbid an der Verbindungsschnittstelle gebildet wird,

wodurch die Festigkeit an der Schnittstelle in kritischem Maße sinkt.
Bei Schweißverfahren allgemein kommt es, aufgrund der hohen Temperaturen bis zum Überschreiten des Schmelzpunktes der zu verbindenden Materialien und der entstehenden Eigenspannungen beim Abkühlen, vermehrt zur Rissbildung im Bereich der Schweißnaht und somit zur Schwächung der Verbindung.

Zur Vermeidung dieser Problematik wird in der DE 697 24 730 T2 ein Lötverfahren vorgeschlagen, bei dem zwischen den beiden 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 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 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 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 eingesetzt.

Eine spezielle Problematik bei diesen Verbindungsprozessen besteht dabei in der Kontrolle der Dicke der Lotschicht zwischen den beiden Verbindungspartnern und somit in der Kontrolle der Gesamtlänge des fertigen Turbinenläufers.
Eine weitere Problematik besteht darin, dass auch bei den niedrigeren Löttemperaturen 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 Läuferwelle 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 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 einer hochwarmfesten Metalllegierung und einer damit in einem Lötverfahren verbundenen Stahl-Läuferwelle, für eine Abgasturbine anzugeben, bei der die Breite des Lotspaltes und somit die genaue Länge des fertigen Turbinenläufers sowie die Härtung, insbesondere der Lagerbereiche, der Läuferwelle definiert sind, ohne eine zusätzliche Nachbearbeitung zu erfordern. Weiterhin besteht die Aufgabe darin ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Turbinenläufers anzugeben das kostengünstig industriell, in der Großserienfertigung einsetzbar ist.

Diese Aufgabe wird durch einen Turbinenläufer mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 sowie durch ein Verfahren zur Herstellung dieses Turbinenläufers mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 5 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 mit einer Laufradnabe und eine Läuferwelle mit einem der Laufradbasis zugewandten Läuferwellenende auf. Das Turbinenlaufrad besteht aus einer hochwarmfesten Metalllegierung und ist vorzugsweise in einem gebräuchlichen Feingussverfahren hergestellt. Es weist einen Grundkörper mit einer Beschaufelung auf der Vorderseite, sowie eine Laufradnabe in Form

eines konzentrisch auf der Rückseite des Grundkörpers angeordneten Zylinderabschnittes auf.

Die Läuferwelle besteht aus Stahl und ist vorzugsweise für den späteren Einsatz fertig bearbeitet und zumindest im Bereich der späteren Lagerstellen gehärtet.

Die Laufradnabe und das Läuferwellenende sind mittels einer Lötverbindung stoffschlüssig mit einander verbunden, wobei zwischen den Stirnflächen der Laufradnabe und des Läuferwellenendes ein mit einer Lotlegierung gefüllter Lötspalt konzentrisch zur Turbinenläufer-Drehachse angeordnet ist. Als Lotmaterialien werden vorteilhaft hauptsächlich auf Nickel, Kupfer, Silber oder Titan basierte Metalllegierungen eingesetzt.

Der erfindungsgemäße Turbinenläufer zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass die Lötspaltbreite durch einen kreisförmig umlaufenden, sich vom Außenrand her über nur einen Teil des Radius erstreckenden Materialabtrag auf der Stirnfläche der Laufradnabe oder der Stirnfläche des Läuferwellenendes vorbestimmt ist und dass die Lötverbindung mittels Elektronenstrahl-Lötverfahren erzeugt wurde. Dass der Lötspalt konzentrisch angeordnet ist und durch einen kreisförmig umlaufenden Materialabtrag auf einer der Stirnflächen gebildet ist, wobei sich der Materialabtrag und somit der Lötspalt nicht über den gesamten Radius der jeweiligen Stirnfläche erstreckt, bedeutet, dass ein Teil der ursprünglichen Stirnfläche stehen bleibt, so dass der Materialabtrag bei aneinander liegenden Stirnflächen von Laufradnabe und Läuferwelle einen definierten Lötspalt ergibt. Der entsprechende Materialabtrag kann wahlweise sowohl auf der Stirnseite der Laufradnabe als auch auf der Stirnseite des Läuferwellenendes oder auf beiden Seiten erfolgen.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Turbinenläufers liegen vor allem darin, dass in jedem Fall und unabhängig von den aufgebrachten Kräften beim Aneinanderfügen der beiden Werkstücke, eine definierte und optimierte Lötspaltbreite gewährleistet werden kann. Dies trägt zur konstanten Qualität der Lötverbindung und deren Festigkeit bei. Gleichwohl wird, durch den räumlich begrenzten Wärmeeintrag, die Härtung der Läuferwelle im Bereich der Lagerstellen nicht beeinträchtigt und ein zusätzlicher

Härteprozess kann entfallen. Auch treten aufgrund der insgesamt niedrigeren Temperaturen keine Rissbildungen im Verbindungsbereich auf. Dies sind wesentliche Voraussetzungen für den Einsatz des erfindungsgemäßen Turbinenläufers in Großserienprodukten, wie zum Beispiel in Turboladern für Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen.

In vorteilhafter Ausführung des erfindungsgemäßen Turbinenläufers wird als hochwarmfeste Metalllegierung des Turbinenlaufrads eine TiAl-Legierung oder eine Ni-Basislegierung eingesetzt und für die Läuferwelle ein niedriglegierter oder hochlegierter Vergütungsstahl oder ein austenitischer Stahl verwendet. Dies hat den Vorteil, dass aus einer großen Vielzahl bekannter Materialien die optimale Kombination zusammengestellt werden kann.

Eine vorteilhafte Ausführung des erfindungsgemäßen Turbinenläufers ist dadurch gekennzeichnet, dass der kreisförmig umlaufende Materialabtrag einen ringförmigen Absatz mit bestimmter Absatzhöhe oder eine in einem bestimmten Spalt-Winkel α nach außen gegen das jeweilige Werkstück geneigte Konusfläche derart ausbildet, dass ein nach außen offener Lötspalt und eine sich in Richtung Turbinenläufer-Drehachse daran anschließende kreisförmige, stirnseitige Anlagefläche ausgebildet ist, die unmittelbar an der gegenüberliegenden Stirnfläche anliegt. Der Materialabtrag erfolgt also vom Außenumfang der Läuferwelle oder der Laufradnabe her Richtung Drehachse, über nur einen Teil des Radius, so dass im jeweiligen Zentrum ein Teil der ursprünglichen Stirnfläche stehen bleibt und die Anlagefläche für das jeweils gegenüberliegende Werkstück bildet.
Dadurch ist ein Lötspalt mit definierter Breite und Länge vorgegeben und somit die Verbindungsfläche definiert. Dies ergibt gleichbleibende Festigkeitswerte der Lötverbindungen in der Serienproduktion. Gleichzeitig weisen die Turbinenläufer eine konstante Gesamtlänge auf.

In Weiterbildung der vorgenannten vorteilhaften Ausführung weist die Laufradnabe oder das Läuferwellenende eine zentrisch an-

geordnete Sacklochbohrung in der jeweiligen Stirnfläche auf, die im Übergang zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle als Wärmedrossel wirkt. Dabei ist der Durchmesser der Sackloch-bohrung um so viel kleiner als der Durchmesser der stirnseitigen Anlagefläche, dass eine ringförmige Anlagefläche mit einer Ringbreite von mindestens 0,5 mm ausgebildet ist. Die Sack-lochbohrung kann sowohl im selben Werkstück, Turbinenläufer oder Läuferwelle, angeordnet sein wie der Materialabtrag oder wahlweise auch in dem jeweils anderen Werkstück, das keinen Materialabtrag aufweist. Im zweiten Fall liegt die stirnseitige Anlagefläche nur in dem Bereich gegen das gegenüberliegende Werkstück an in dem die Anlagefläche die Sacklochbohrung überlappt.
Diese Ausführung hat den Vorteil, dass trotz Anordnung der Sacklochbohrung als Wärmedrossel in einer der Stirnseiten von Laufradnabe oder Läuferwelle eine definierte Lötspaltbreite gewährleistet werden kann.

In Fortsetzung der erstgenannten vorteilhaften Ausführung des erfindungsgemäßen Turbinenläufers ist die Absatzhöhe des ringförmigen Absatzes zwischen 0,05 mm und 0,15 mm gewählt oder der Spalt-Winkel α ist so gewählt, dass der Lötspalt an seinem Außenumfang eine Lötspaltbreite von 0,20 mm nicht überschreitet. Bei Lötspaltbreiten bzw. Geometrien innerhalb der vorgenannten Bereiche weisen die Verbindungsstellen zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle die besten Festigkeitswerte auf.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung des zuvor be-schriebenen Turbinenläufers ist gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

- Zunächst werden ein Turbinenlaufrad aus einer hochwarmfesten Metalllegierung mit einer Laufradnabe, und eine Läuferwelle aus Stahl bereitgestellt. Das Turbinenlaufrad ist vorzugsweise in einem gebräuchlichen Feingussverfahren hergestellt und weist einen Grundkörper mit einer Beschaufelung auf der Vorderseite, sowie eine Laufradnabe in Form eines konzentrisch auf der Rückseite des Grundkörpers angeordneten Zylinder-abschnittes auf.

- Auf einer der Stirnflächen der Laufradnabe oder der Läuferwelle wird dann ein kreisförmiger, konzentrischer Materialabtrag hergestellt, wobei sich der Materialabtrag und somit der Lötspalt von außen beginnend nicht über den gesamten Radius der jeweiligen Stirnfläche erstreckt, so dass der kreisförmig umlaufende Materialabtrag einen ringförmigen Absatz mit bestimmter Absatzhöhe oder eine in einem bestimmten Spalt-Winkel α nach außen gegen das jeweilige Werkstück geneigte Konusfläche so ausbildet, dass zwischen den Stirnflächen der Laufradnabe und der Läuferwelle ein nach außen offener Lötspalt und eine sich in Richtung Turbinenläufer-Drehachse daran anschließende kreisförmige, stirnseitige Anlagefläche entsteht.
- Im Anschluss an den vorausgehenden Schritt wird dann ein Lotmaterial auf eine der Stirnflächen der Laufradnabe oder der Läuferwelle, im jeweiligen Bereich des Materialabtrages, aufgebracht, wobei vorteilhaft auf Nickel, Kupfer, Silber oder Titan basierende Metalllegierungen eingesetzt werden.
- Dann werden die beiden Werkstücke, Turbinenlaufrad und Läuferwelle, zusammengeführt und zu einander zentriert ausgerichtet. Dies erfolgt durch Aufspannen der Werkstücke in einer dafür eingerichteten Vorrichtung, derart, dass die stirnseitige Anlagefläche unmittelbar an der gegenüberliegenden Stirnseite des jeweils anderen Werkstückes anliegt und das Lotmaterial im Lötspalt positioniert ist.
- Sodann erfolgt die Erwärmung des Lotmaterials und des unmittelbaren Stirnflächenbereichs von Laufradnabe und Läuferwelle im Lötspalt mit Hilfe eines Elektronenstrahls, bis auf eine vorbestimmte, über der Schmelztemperatur des Lotmaterials liegende Löttemperatur.
- Nach Erreichen der Löttemperatur wird diese, mittels geregelter Energiezufuhr durch den Elektronenstrahl, über eine vorbestimmte Zeit möglichst konstant gehalten. Dies ermöglicht das Benetzen der Verbindungsflächen durch das Lot und verbessert somit den Diffusionsvorgang des Lotes in die sich gegenüberliegenden Verbindungsflächen.

  Eine Möglichkeit der Durchführung des Erwärmungs- und Temperaturhaltevorgangs besteht zum Beispiel darin, dass der

Elektronenstrahl punktförmig auf einen Abschnitt des Lötspalts fokussiert wird und der Turbinenläufer, also Turbinenlaufrad und Läuferwelle zusammen, in vorbestimmter Drehgeschwindigkeit um seine Drehachse gedreht wird.

- Durch das anschließende Abkühlen der Werkstücke erstarrt die Lotschmelze, wodurch die Lötverbindung zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle erzeugt wird.
- Nach Verfestigung der Lötstelle kann die Freigabe des Turbinenläufers aus der Vorrichtung erfolgen.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung des erfindungsgemäßen Turbinenläufers liegen vor allem darin, dass in jedem Fall eine Lötverbindung mit konstanter Qualität, bei definierter Lötspaltbreite und somit definierter Gesamtlänge des Turbinenläufers hergestellt werden kann. Durch die schnelle und räumlich begrenzte Wärmeeinbringung können kurze Prozesszeiten erzielt werden und es wird kein nachträglicher Härtevorgang der Läuferwelle erforderlich. Dies sind wesentliche Voraussetzungen für den Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Großserienproduktion, wie zum Beispiel in Turboladern für Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen.

Eine vorteilhaften Weiterbildung des Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Turbineläufers ist dadurch gekennzeichnet, dass in einem zusätzlichen Verfahrensschritt eine zentrisch angeordnete Sacklochbohrung in die Laufradnabe oder das Läuferwellenende eingebracht wird, derart, dass der Durchmesser der Sacklochbohrung um so viel kleiner ist als der Durchmesser der stirnseitigen Anlagefläche, dass eine ringförmige Anlagefläche mit einer Ringbreite von mindestens 0,5 mm ausgebildet wird.
Die eingebrachte Sacklochbohrung wirkt als Wärmedrossel zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle und reduziert den Wärmeübergang auf die Läuferwelle im Betrieb. Gleichzeitig kann ein in Länge und Breite definierter Lötspalt erzielt und die Qualität der Lötverbindung dadurch gesteigert werden.

In Kürze zusammengefasst betrifft die Erfindung einen Turbinenläufer für eine Abgasturbine sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Turbinenläufers, wobei der Turbinenläufer ein Turbinenlaufrad aus einer TiAl-Legierung und eine Läuferwelle aus Stahl aufweist und die Laufradnabe und das Läuferwellenende mittels einer Lötverbindung stoffschlüssig mit einander verbunden sind. Zwischen den Stirnflächen der Laufradnabe und des Läuferwellenendes ist ein mit einer Lotlegierung gefüllter Lötspalt konzentrisch zur Turbinenläufer-Drehachse angeordnet, wobei die Lötspaltbreite durch einen kreisförmig umlaufenden Materialabtrag auf der Stirnfläche der Laufradnabe oder der Stirnfläche des Läuferwellenendes vorbestimmt ist und die Lötverbindung mittels Elektronenstrahl-Lötverfahren erzeugt wird.

Konkrete Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand der Darstellungen in der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine vereinfachte schematische, nicht maßstäbliche Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Turbinenläufers.

Fig. 2 eine kennzeichnende Einzelheit aus Figur 1 in zwei unterschiedlichen Ausführungen in vergrößerter Darstellung.

Fig. 3 eine vereinfachte schematische, nicht maßstäbliche Darstellung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Turbinenläufers.

Fig. 4 eine kennzeichnende Einzelheit aus Figur 3 in vergrößerter Darstellung.

Fig. 5 eine weitere Ausführung der kennzeichnende Einzelheit aus Figur 3 in vergrößerter Darstellung.

Fig. 6 eine vereinfachte schematische, nicht maßstäbliche Darstellung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Turbinenläufers.

Fig. 7 eine kennzeichnende Einzelheit aus Figur 6 in vergrößerter Darstellung.

Fig. 8 eine stark vereinfachte Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung zumindest eines Teils des erfindungsgemäßen Verfahrens.

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

In Figur 1 ist ein erfindungsgemäßer Turbinenläufer 1 in vereinfachter Darstellung gezeigt. Dieser weist ein Turbinenlaufrad 2 mit einer Laufradnabe 3 und eine Läuferwelle 4 auf. Das Turbinenlaufrad ist vorzugsweise in einem gebräuchlichen Feingussverfahren, aus einer hochwarmfesten Metallegierung hergestellt und weist einen Grundkörper mit einer Beschaufelung auf der Vorderseite (in der Figur links), sowie eine Laufradnabe 3 in Form eines konzentrisch auf der Rückseite (in der Figur rechts) des Grundkörpers angeordneten Zylinderabschnittes auf. Die Welle ist hier ebenfalls vereinfacht dargestellt und kann im konkreten Fall Stufen, Absätze, Verjüngungen und ähnlich Merkmale aufweisen.
Die Verbindungsstelle zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle ist in „aufgebrochener“ Darstellung gezeigt und als Einzelheit X gekennzeichnet, die in der folgenden Figur 2 zur besseren Übersicht in vergrößerter Darstellung gezeigt ist.

In Figur 2 ist die Schnittstelle zwischen Laufradnabe 3 und Läuferwelle 4 in zwei komplementären Ausführungsformen gezeigt, wobei zwischen den Stirnflächen der Laufradnabe 3 und der Stirnfläche der Läuferwelle 4 ein mit einer Lotlegierung gefüllter Lötspalt 6 konzentrisch zur Drehachse 10 des Turbinenläufers 1 angeordnet ist. In der oberen Hälfte der als Einzelheit X gekennzeichneten Darstellung ist die Lötspaltbreite 8 durch einen kreisförmig umlaufenden sich vom Außenrand über nur einen Teil des Radius erstreckenden Materialabtrag, in Form eines rechtwinkligen Absatzes, auf der Stirnfläche des Läuferwellenendes vorbestimmt. Im Zentrum bildet der stehen gebliebene Teil der Läuferwellen-Stirnfläche eine Anlagefläche 7, mit der das Läuferwellenende unmittelbar an der Stirnfläche der Laufradnabe 3 anliegt. Dies ist gut zu erkennen im unteren Teil

der Figur 2, wo speziell der Bereich des Lötspalts 6 und der Anlagefläche 7 in nochmals vergrößerter Darstellung gezeigt ist. In der unteren Hälfte der als Einzelheit X gekennzeichneten Darstellung ist ein Lötspalt 6 mit gleicher Geometrie gezeigt, der jedoch, im Gegensatz zur vorgenannten Ausführung, durch Materialabtrag auf der Stirnfläche der Laufradnabe vorbestimmt ist.
Die Lötverbindung ist mittels Elektronenstrahl-Lötverfahren hergestellt.

Figur 3 zeigt prinzipiell den gleichen Turbinenläufer 1 wie Figur 1. Im Bereich der hier als Einzelheit Y gekennzeichneten Schnittstelle zwischen Laufradnabe 3 und Läuferwelle 4 ist jedoch zusätzlich eine zentrisch angeordnete Sacklochbohrung 5 im Läferwellenende vorgesehen, die im Übergang zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle als Wärmedrossel wirkt.

In der vergrößerten Darstellung der Einzelheit Y aus Figur 3 in Figur 4 ist zu erkennen, dass auch in dieser Ausführung die Lötspaltbreite 8 durch einen kreisförmig umlaufenden sich vom Außenrand über nur einen Teil des Radius erstreckenden Materialabtrag, in Form eines rechtwinkligen Absatzes, auf der Stirnfläche des Läuferwellenendes vorbestimmt ist. Auch hier ist im unteren Teil der Figur 4 speziell der Bereich des Lötspalts 6 und der Anlagefläche 7 in nochmals vergrößerter Darstellung gezeigt. Hier ist gut zu erkennen, dass der Durchmesser d der Sacklochbohrung 5 kleiner ist als der Durchmesser D der stirnseitigen Anlagefläche 7, so dass eine ringförmige Anlagefläche 7 mit einer Ringbreite 9 ausgebildet ist. In der speziellen Ausführung soll diese Ringbreite 9 mindestens 0,5 mm betragen, um eine ausreichende Tragfähigkeit gegen einen im Fügeprozess aufzubringenden Anpressdruck zu gewährleisten.

Figur 5 zeigt in vergrößerter Darstellung der Einzelheit Y aus Figur 3 eine weitere Variante der Gestaltung eines definierten Lötspalts 6 in Verbindung mit einer Sacklochbohrung 5. Sowohl der Materialabtrag zur Gestaltung des Lötspalts 6 als auch die Sacklochbohrung 5 sind auf der Stirnfläche der Läuferwelle 4

angeordnet. Auch hier ist im unteren Teil der Figur 5 speziell der Bereich des Lötspalts 6, des Sackloches 5 und der Anlagefläche 7 in nochmals vergrößerter Darstellung gezeigt. Der Lötspalt 6 weist in dieser Ausführung Keilform auf. Zur Gestaltung des Lötspalts 6 ist eine in einem bestimmten Spalt-Winkel α nach außen gegen die Läuferwelle hin geneigte Konusfläche derart ausbildet, dass ein nach außen offener Lötspalt entsteht, der sich keilförmig in Richtung Turbinenläufer-Drehachse 10 verjüngt und bereits vor Erreichen des Randes der Sacklochbohrung ausläuft, so dass eine sich daran anschließende kreisförmige Anlagefläche 7 auf der Stirnseite der Läuferwelle 4 stehen bleibt, die unmittelbar an der gegenüberliegenden Stirnfläche der Laufradnabe anliegt. Auch hier ist der Durchmesser d der Sacklochbohrung 5 kleiner ist als der Durchmesser D der stirnseitigen Anlagefläche 7, so dass eine ringförmige Anlagefläche 7 mit einer ausreichenden Ringbreite 9 ausgebildet ist.

Die gezeigten Beispiele der möglichen Anordnungen und Kombinationen von Materialabtrag und Sacklochbohrung sind lediglich als Beispiel für die weiteren möglichen Kombinationen und weitere Geometrien der Materialabtragung bzw. Gestaltung des Lötspalts zu verstehen.

Dies wird nochmals verdeutlicht in den Figuren 6 und 7, die eine Variante des Turbinenläufers 1 zeigen, bei der die Materialabtragung zur Gestaltung des Lötspalts auf der Stirnfläche der Läuferwelle 4, die Sacklochbohrung 5 jedoch in der Läufernabe 3 angeordnet ist. Auch hier ist der Durchmesser d der Sacklochbohrung 5 kleiner ist als der Durchmesser D der stirnseitigen Anlagefläche 7, so dass durch den Überlappungsbereich auch hier eine ringförmige Anlagefläche 7 mit einer ausreichenden Ringbreite 9 ausbildet ist.

Figur 8 zeigt in stark vereinfachter Darstellung eine Vorrichtung zur Durchführung verschiedener Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die dargestellte Vorrichtung dient insbesondere zur Durchführung des Lötprozesses zur stoff-

schlüssigen Verbindung zwischen Laufradnabe 3 und Läuferwelle 4.
Nach separater Durchführung der ersten Verfahrensschritte:

- Bereitstellen von Turbinenlaufrad und Läuferwelle,
- Herstellen eines kreisförmigen, konzentrischen Materialabtrages auf einer der Stirnflächen der Laufradnabe oder der Läuferwelle, und
- Aufbringen eines Lotmaterials auf einer der Stirnflächen,

erfolgen zumindest die folgenden Verfahrensschritte unter Verwendung einer Vorrichtung wie zum Beispiel in Figur 8 dargestellt.
Die Vorrichtung weist auf, ein Aufspannvorrichtung 20 und eine Elektronenstrahlquelle 17 mit Fokusiereinrichtung 18. Die Aufspannvorrichtung 20 weist die folgend genannten Funktionseinheiten auf:

- Ein Vorrichtungsbett 11 als Basis für die weiteren Funktionseinheiten.
- Ein Laufradspannfutter 12 bestehend aus zumindest zwei Spannbacken zur zentrierten Aufnahme des Turbinenlaufrades 2, wobei das Laufradspannfutter 12 mittels eines Rotationslagers 16 drehbar um die Turbinenläufer-Drehachse 10 am Vorrichtungsbett 11 gelagert und über eine Antriebswelle 15 antreibbar ist.
- Einen Spannschlitten 14, der im Vorrichtungsbett 11 axial, in Richtung der Turbinenläufer-Drehachse 10 verfahrbar gelagert ist.
- Ein Läuferwellenspannfutter 13 bestehend aus zumindest zwei Spannbacken zur zentrierten Aufnahme der Läuferwelle 4, welches mittels eines Rotationslagers 16 drehbar um die Turbineläufer-Drehachse 10 am Spannschlitten 14 gelagert ist.

Das bereitgestellte, entsprechend den ersten Verfahrensschritten vorbereitete Turbinenlaufrad 2 wird im Laufradspannfutter 12 zentriert aufgespannt, die Pfeile 22 zeigen die dazu erforderliche Spannbewegung der einzelnen Spannbacken. Ebenfalls wird die bereitgestellte, entsprechend den ersten Verfahrensschritten vorbereitete Läuferwelle im Läuferwellenspannfutter 13 zentriert aufgespannt, die Pfeile 23 zeigen die dazu erforderliche Spannbewegung der einzelnen Spannbacken. Dann erfolgt über eine lineare Bewegung des Spannschlittens 14, die

in der Figur 8 mittels des Pfeils 24 angedeutet ist, das zentriert zueinander ausgerichtete Zusammenführen von Turbinenlaufrad 2 und Läuferwelle 4, derart, dass die stirnseitige Anlagefläche unmittelbar an der gegenüberliegenden Stirnseite des jeweils anderen Werkstückes anliegt und das Lotmaterial im Lötspalt 6 positioniert ist. Der Spannschlitten 14 bringt dann eine vordefinierte Spannkraft auf, mit der die beiden Werkstücke gegeneinander gedrückt werden. In der Folge wird nun, angetrieben über die Antriebswelle 15, das Turbinenlaufrad 2 zusammen mit der mittels Kraftschluss daran gekoppelten Läuferwelle 4 in Rotation mit vorgegebener, geregelter Drehzahl um die Turbinenläufer-Drehachse 10 versetzt, dies ist in der Figur 8 mit den Pfeilen 21 angedeutet. Mit Hilfe der Elektronenstrahlquelle 17 und der Fokusiereinrichtung 18 wird nun eine Elektronenstrahl 19 erzeugt und von außen auf den Lötspalt 6 gerichtet. Durch die gleichmäßige Drehung des Turbinenläufers 1 in Zusammenwirken mit dem Elektronenstrahl 19 erfolgt nun die Erwärmung des Lotmaterials und des unmittelbaren Stirnflächenbereichs von Laufradnabe 3 und Läuferwelle 4 im Lötspalt 6, bis auf eine vorbestimmte, über der Schmelztemperatur des Lotmaterials liegende Löttemperatur. Dabei kann durch die Drehzahl des Turbinenläufers und die Intensität des Elektronenstrahls 19 Einfluss genommen werden auf die Erwärmungsgeschwindigkeit und das zu erreichende Temperaturniveau. Um eine gute Benetzung der sich gegenüberliegenden Stirnseiten durch das Lot zu gewährleisten erfolgt nun ein Halten der Löttemperatur über eine vorbestimmte Zeit, mittels geregelter Energiezufuhr durch den Elektronenstrahl 19, bei gleichbleibender Drehgeschwindigkeit des Turbinenläufers. Im Anschluss daran erfolgt dann das Abkühlen der Werkstücke und das damit verbundene Erzeugen der Lötverbindung zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle. Dabei wird die vom Spannschlitten 14 erzeugte Spannkraft zumindest so lange aufrecht gehalten, bis das Lot erstarrt und die Verbindung stabil ist. Erst dann erfolgt die Freigabe des Turbinenläufers aus der Vorrichtung.

Sämtliche beschriebenen Abläufe können dabei automatisiert mit Hilfe entsprechender Antriebsvorrichtungen und einer zentralen programmierbaren Steuer-/Regel-Einrichtung durchgeführt wer-

den. Durch die Anordnung weiterer Funktionseinheiten können auch die vorgelagerten Verfahrensschritte, wie zum Beispiel das Herstellen des kreisförmigen, konzentrischen Materialabtrages und das Aufbringen eines Lotmaterials, zumindest teilweise in der beschriebenen Vorrichtung durchgeführt werden.

Patentansprüche

1. Turbinenläufer für eine Abgasturbine, der ein Turbinenlaufrad mit einer Laufradnabe, bestehend aus einer hochwarmfesten Metalllegierung und eine Läuferwelle mit einem der Laufradbasis zugewandten Läuferwellenende, bestehend aus Stahl, aufweist, wobei die Laufradnabe und das Läuferwellenende mittels einer Lötverbindung stoffschlüssig mit einander verbunden sind, wobei zwischen den Stirnflächen der Laufradnabe und des Läuferwellenendes ein mit einer Lotlegierung gefüllter Lötspalt konzentrisch zur Turbinenläufer-Drehachse angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet,
dass die Lötspaltbreite durch einen kreisförmig umlaufenden sich vom Außenrand über nur einen Teil des Radius erstreckenden Materialabtrag auf der Stirnfläche der Laufradnabe oder der Stirnfläche des Läuferwellenendes vorbestimmt ist und dass die Lötverbindung mittels Elektronenstrahl-Lötverfahren erzeugt wurde.

2. Turbinenläufer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die hochwarmfeste Metalllegierung des Turbinenlaufrads eine TiAl-Legierung oder eine Ni-Basislegierung ist und dass der Stahl der Läuferwelle ein niedriglegierter oder hochlegierter Vergütungsstahl oder ein austenitischer Stahl ist.

3. Turbinenläufer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der kreisförmig umlaufende Materialabtrag einen ringförmigen Absatz mit bestimmter Absatzhöhe oder eine in einem bestimmten Spalt-Winkel α nach außen gegen das jeweilige Werkstück geneigte Konusfläche derart ausbildet, dass ein nach außen offener Lötspalt und eine sich in Richtung Turbinenläufer-Drehachse daran anschließende kreisförmige, stirnseitige Anlagefläche ausgebildet ist, die unmittelbar an der gegenüberliegenden Stirnfläche anliegt.

4. Turbinenläufer nach einem der Ansprüche 1 bis 3 dadurch gekennzeichnet, dass die Laufradnabe oder das Läuferwellenende eine zentrisch angeordnete Sacklochbohrung aufweist,

die im Übergang zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle als Wärmedrossel wirkt, wobei der Durchmesser der Sacklochbohrung um so viel kleiner ist als der Durchmesser der stirnseitigen Anlagefläche, dass eine ringförmige Anlagefläche mit einer Ringbreite von mindestens 0,5 mm ausgebildet ist.

5. Turbinenläufer nach Anspruch 3 dadurch gekennzeichnet, dass die Absatzhöhe des ringförmigen Absatzes zwischen 0,05 mm und 0,15 mm gewählt ist oder der Spalt-Winkel α so gewählt ist, dass der Lötspalt an seinem Außenumfang eine Lötspaltbreite von 0,20 mm nicht überschreitet.

6. Verfahren zur Herstellung eines Turbineläufers nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:
- Bereitstellen eines Turbinenlaufrades aus einer hochwarmfesten-Metalllegierung mit einer Laufradnabe und einer Läuferwelle aus Stahl,
- Herstellen eines kreisförmigen, konzentrischen Materialabtrages auf einer der Stirnflächen der Laufradnabe oder der Läuferwelle derart, dass der kreisförmig umlaufende Materialabtrag einen ringförmigen Absatz mit bestimmter Absatzhöhe oder eine in einem bestimmten Spalt-Winkel α nach außen gegen das jeweilige Werkstück geneigte Konusfläche so ausbildet, dass zwischen den Stirnflächen der Laufradnabe und der Läuferwelle ein nach außen offener Lötspalt und eine sich in Richtung Turbinenläufer-Drehachse daran anschließende kreisförmige, stirnseitige Anlagefläche entsteht,
- Aufbringen eines Lotmaterials auf eine der Stirnflächen der Laufradnabe oder der Läuferwelle im jeweiligen Bereich des Materialabtrages,
- Zusammenführen und zentriertes Ausrichten von Turbinenlaufrad und Läuferwelle durch Aufspannen der Werkstücke in einer dafür eingerichteten Vorrichtung, derart, dass die stirnseitige Anlagefläche unmittelbar an der gegenüberliegenden Stirnseite des jeweils anderen Werkstückes anliegt und das Lotmaterial im Lötspalt positioniert ist,
- Erwärmung des Lotmaterials und des unmittelbaren Stirnflächenbereichs von Laufradnabe und Läuferwelle im Lötspalt

mit Hilfe eines Elektronenstrahls, bis auf eine vorbestimmte, über der Schmelztemperatur des Lotmaterials liegende Löttemperatur,
- Halten der Löttemperatur über eine vorbestimmte Zeit, mittels geregelter Energiezufuhr durch den Elektronenstrahl,
- Abkühlen der Werkstücke und damit verbundenes Erzeugen der Lötverbindung zwischen Turbinenlaufrad und Läuferwelle,
- Freigabe des Turbinenläufers aus der Vorrichtung.

7. Verfahren zur Herstellung eines Turbineläufers nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch den zusätzlichen Verfahrensschritt:
- Im Anschluss an die Herstellung des konzentrischen Materialabtrages, Auftragen eines Flußmittels auf die beiden zu verbindenden Stirnflächen von Laufradnabe und Läuferwelle im Bereich des Materialabtrages.

8. Verfahren zur Herstellung eines Turbineläufers nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch den zusätzlichen Verfahrensschritt:
- Erzeugen einer zentrisch angeordnete Sacklochbohrung in die Laufradnabe oder das Läuferwellenende derart, dass der Durchmesser der Sacklochbohrung um so viel kleiner ist als der Durchmesser der stirnseitigen Anlagefläche, dass eine ringförmige Anlagefläche mit einer Ringbreite von mindestens 0,5 mm ausgebildet wird.

FIG 1

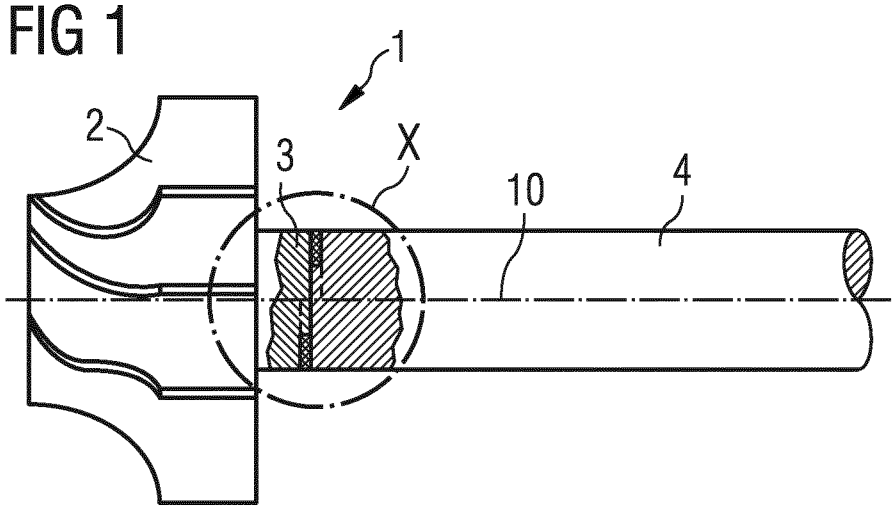


FIG 2 Einzelheit X

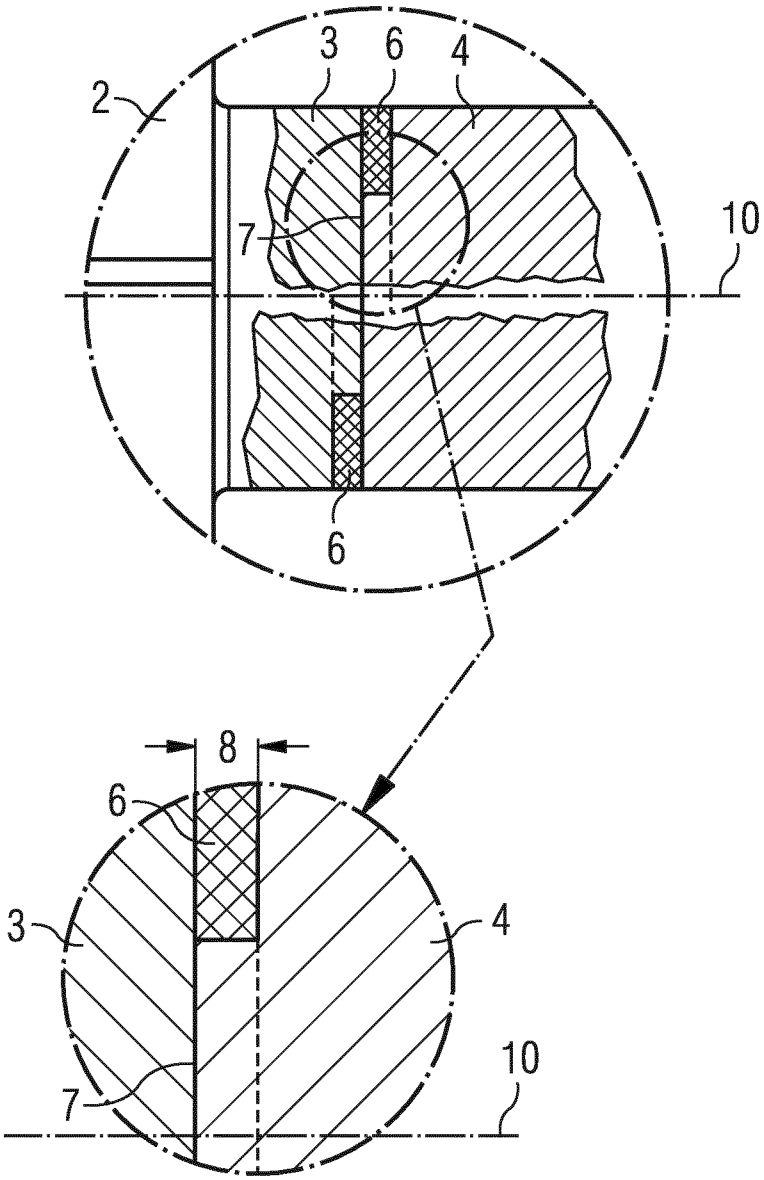


FIG 3

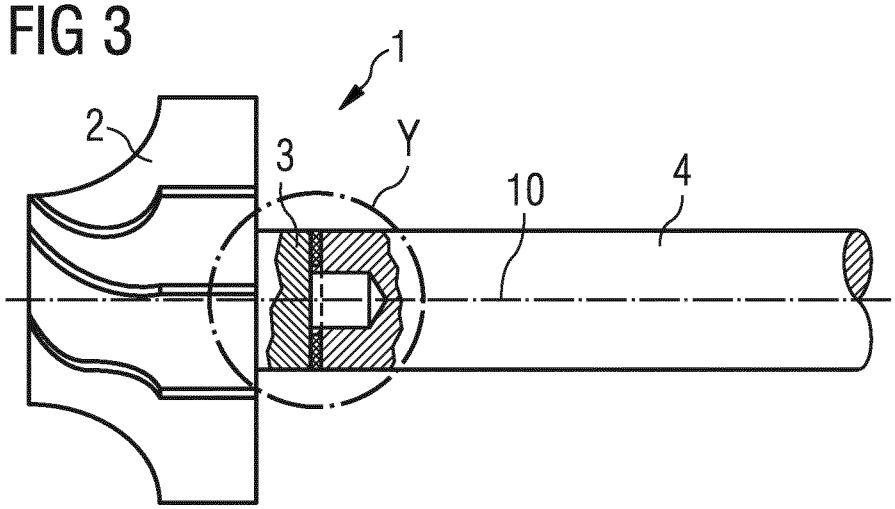


FIG 4 Einzelheit Y

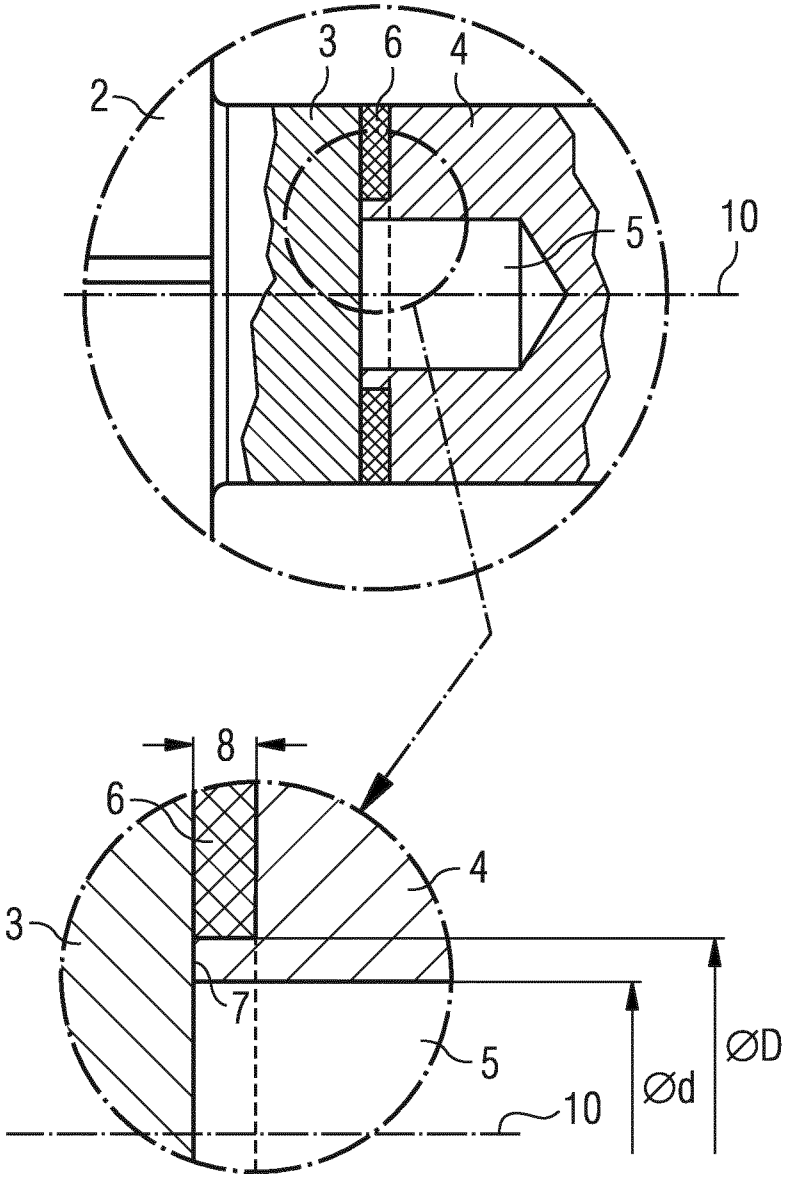


FIG 5 Einzelheit Y

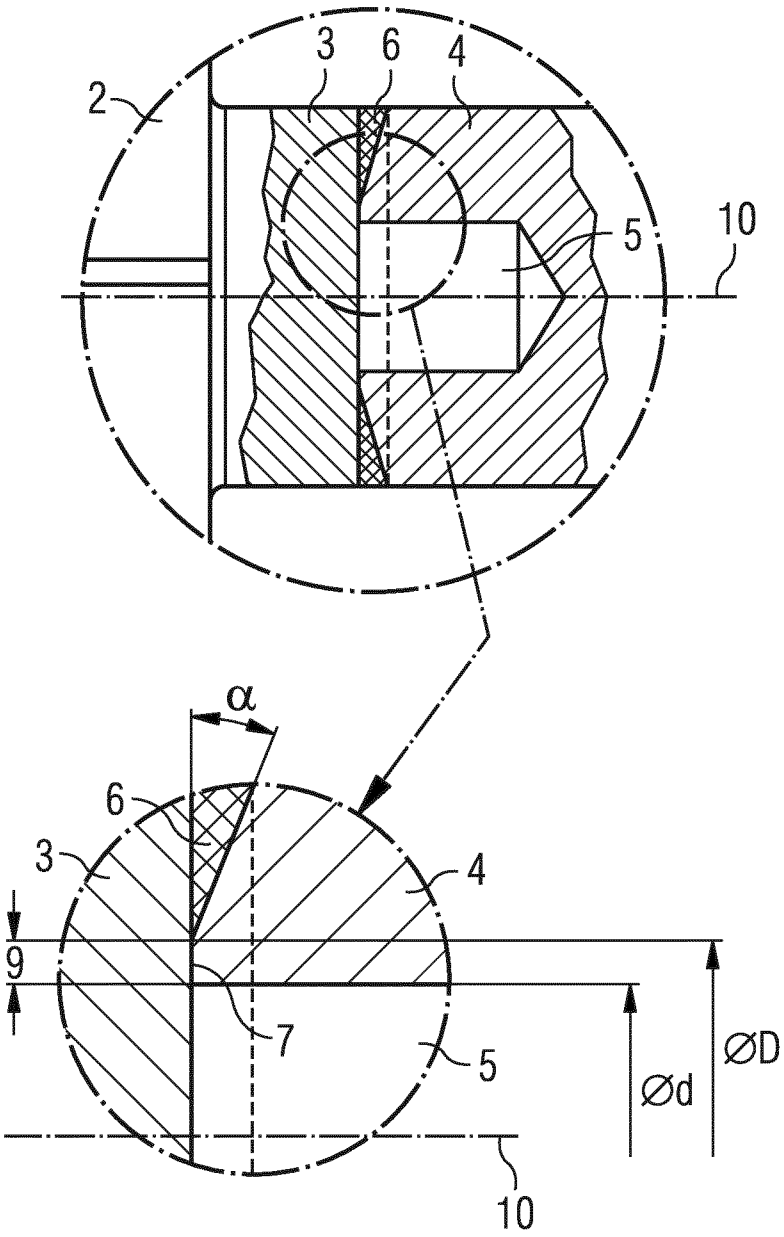


FIG 6

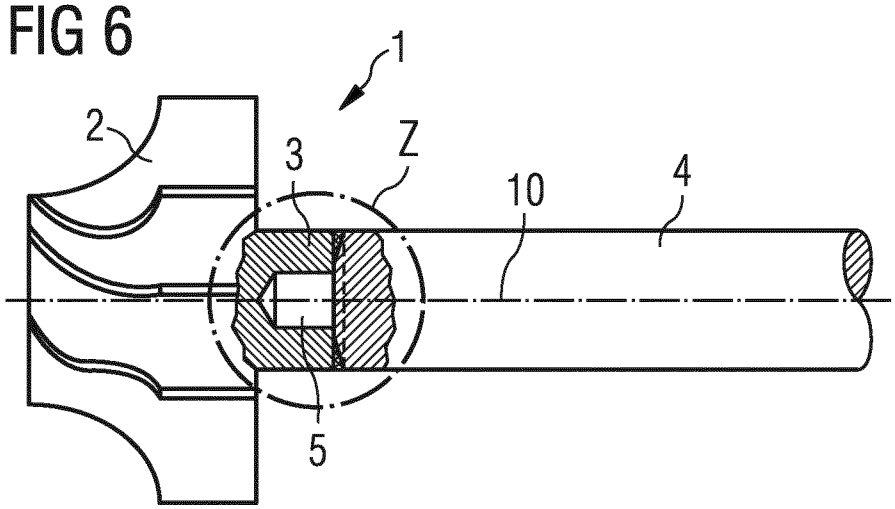
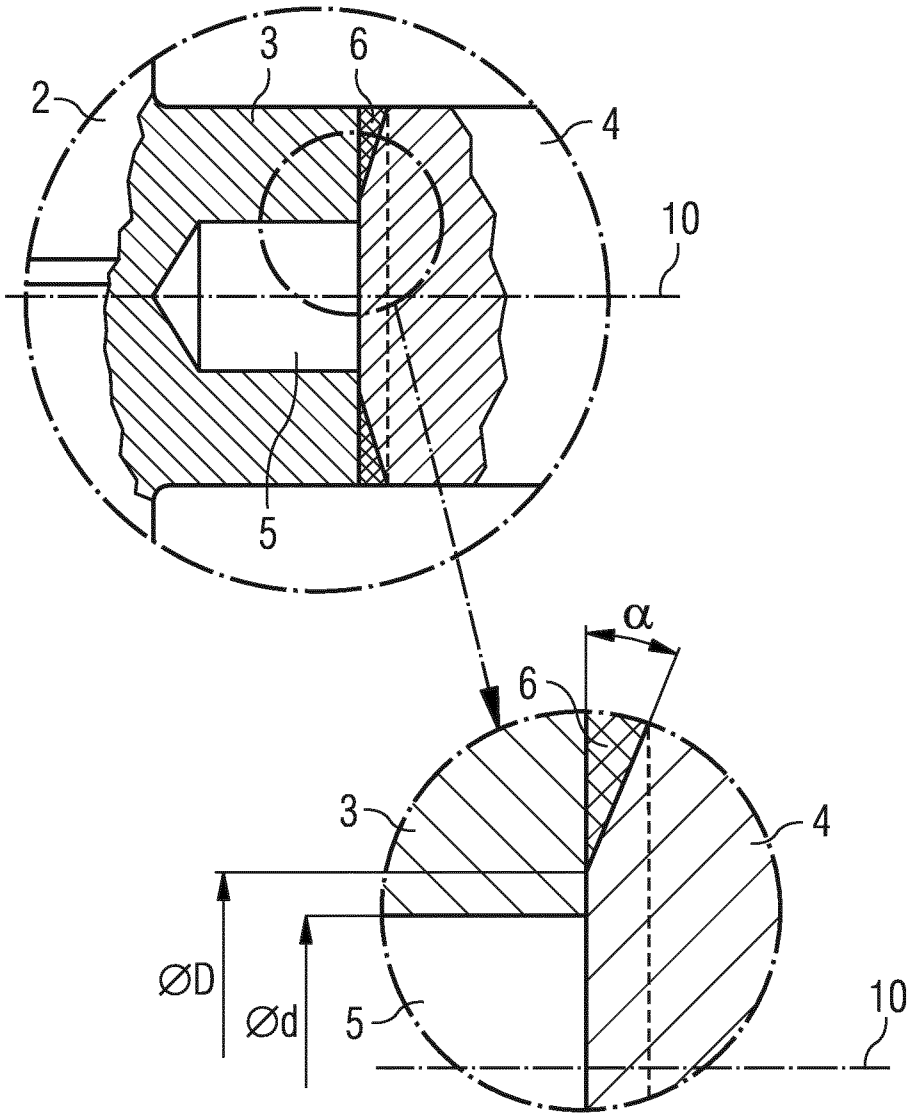


FIG 7 Einzelheit Z



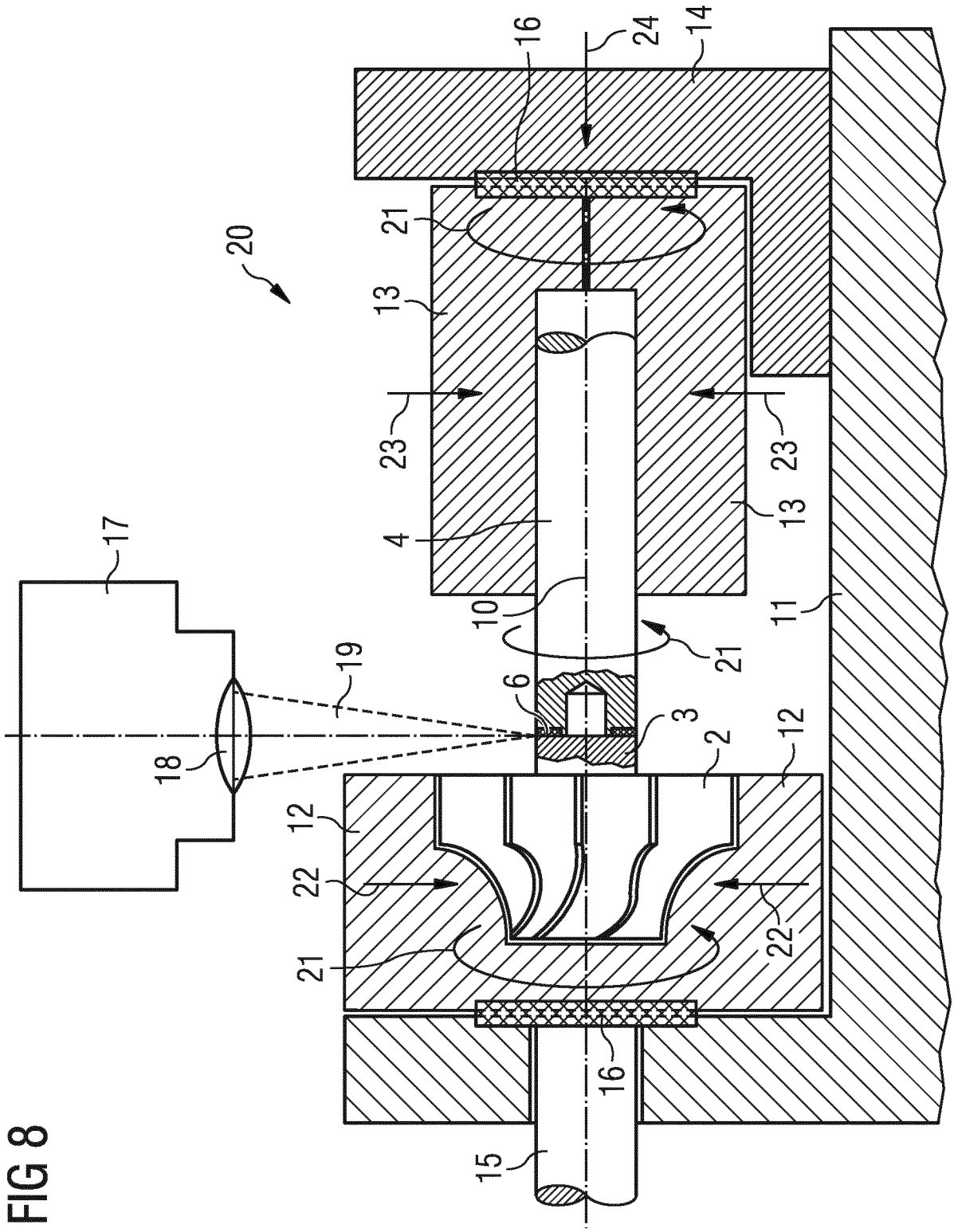


FIG 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/055824

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K1/00 B23K1/005 B23K1/18 F01D5/02 F01D5/06
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)
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	DE 697 24 730 T2 (DAIDO STEEL CO LTD [JP]) 1 April 2004 (2004-04-01) cited in the application paragraph [0031] - paragraph [0032]; figures 4-9	1,3-5 2,6-8
Y	DE 10 2007 048789 A1 (ACCESS EV [DE]; BORG WARNER TURBO SYSTEMS ENGI [DE]) 20 May 2009 (2009-05-20) cited in the application paragraph [0055] - paragraph [0057]; figure 2	2
Y	WO 2007/047096 A2 (HONEYWELL INT INC [US]; RENAUD PHILLIPE [FR]; WILSON MARC [FR]) 26 April 2007 (2007-04-26) paragraph [0024]; figure 4	6-8

☐ 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	Date of mailing of the international search report
28 June 2013	05/07/2013

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	De Backer, Tom

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2013/055824

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 69724730 T2	01-04-2004	AT 249571 T	15-09-2003
		DE 69724730 D1	16-10-2003
		DE 69724730 T2	01-04-2004
		EP 0837221 A2	22-04-1998
		US 6007301 A	28-12-1999
DE 102007048789 A1	20-05-2009	DE 102007048789 A1	20-05-2009
		EP 2203271 A2	07-07-2010
		JP 2011502786 A	27-01-2011
		KR 20100091178 A	18-08-2010
		US 2010297468 A1	25-11-2010
		WO 2009046699 A2	16-04-2009
WO 2007047096 A2	26-04-2007	EP 1954436 A2	13-08-2008
		US 7156282 B1	02-01-2007
		US 2007119908 A1	31-05-2007
		WO 2007047096 A2	26-04-2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/055824

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B23K1/00 B23K1/005 B23K1/18 F01D5/02 F01D5/06
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B23K F01D

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	DE 697 24 730 T2 (DAIDO STEEL CO LTD [JP]) 1. April 2004 (2004-04-01) in der Anmeldung erwähnt	1,3-5
Y	Absatz [0031] - Absatz [0032]; Abbildungen 4-9	2,6-8

Y	DE 10 2007 048789 A1 (ACCESS EV [DE]; BORG WARNER TURBO SYSTEMS ENGI [DE]) 20. Mai 2009 (2009-05-20) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0055] - Absatz [0057]; Abbildung 2	2

Y	WO 2007/047096 A2 (HONEYWELL INT INC [US]; RENAUD PHILLIPE [FR]; WILSON MARC [FR]) 26. April 2007 (2007-04-26) Absatz [0024]; Abbildung 4	6-8

☐ 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
28. Juni 2013	05/07/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	De Backer, Tom

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/055824

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 69724730 T2	01-04-2004	AT 249571 T	15-09-2003
		DE 69724730 D1	16-10-2003
		DE 69724730 T2	01-04-2004
		EP 0837221 A2	22-04-1998
		US 6007301 A	28-12-1999
DE 102007048789 A1	20-05-2009	DE 102007048789 A1	20-05-2009
		EP 2203271 A2	07-07-2010
		JP 2011502786 A	27-01-2011
		KR 20100091178 A	18-08-2010
		US 2010297468 A1	25-11-2010
		WO 2009046699 A2	16-04-2009
WO 2007047096 A2	26-04-2007	EP 1954436 A2	13-08-2008
		US 7156282 B1	02-01-2007
		US 2007119908 A1	31-05-2007
		WO 2007047096 A2	26-04-2007