

(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
20. Dezember 2012 (20.12.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/172099 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F01D 5/18 (2006.01) *F01D 5/20* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/061535
- (22) Internationales Anmeldedatum:
15. Juni 2012 (15.06.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
01028/11 17. Juni 2011 (17.06.2011) CH
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ALSTOM TECHNOLOGY LTD.** [CH/CH]; Brown Boveri Strasse 7, CH-5400 Baden (CH). **BRANDL, Herbert** [DE/DE]; Schützenmattweg 34, CH-79761 Waldshut-Tiengen (CH).

- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ENGL, Lars** [DE/CH]; Bäderstrasse 18, CH-5400 Baden (CH). **DUDA, Thomas** [DE/CH]; Halbartenstrasse 56, CH-5430 Wettingen (CH). **WARDLE, Brian Kenneth** [GB/CH]; Steinbruchstrasse 32, CH-5200 Brugg-Lauffohr (CH).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, 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: CAST TURBINE BLADE

(54) Bezeichnung : GEGOSSENE TURBINENSCHAUFEL

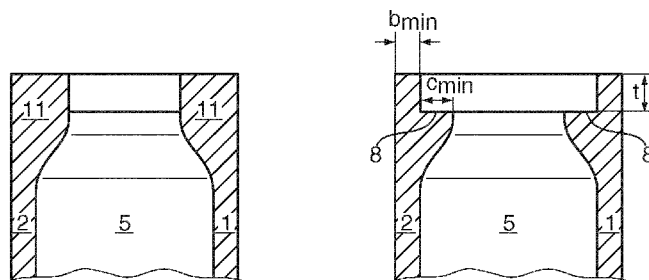


Fig. 1c

Fig. 1d

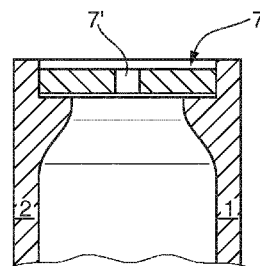


Fig. 1e

(57) Abstract: A cast turbine blade is described, with a blade leaf which is defined by a pressure-side blade leaf wall and a suction-side blade leaf wall that are connected to one another at least along a leading edge of the blade leaf assignable to the turbine blade and define at least one cavity that, as a result of the blade being manufactured by casting, is open in the tip region of the turbine blade. A method for producing a cast turbine blade is also described. The invention is distinguished in that, in the region of the turbine blade tip, at least one blade leaf wall has a structure that faces the cavity and that locally increases a blade leaf wall thickness assignable to the blade leaf wall.

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird eine gegossene Turbinenschaufel, mit einem Schaufelblatt, das von einer druck- und saugseitigen Schaufelblattwand begrenzt ist, die zumindest längs einer der Turbinenschaufel zuordenbaren Schaufelvorderkante miteinander verbunden sind und wenigstens einen Hohlraum miteinander beidseitig begrenzen, der im Bereich der Turbinenschaufelspitze gussherstellungsbedingt offen mündet. Ferner wird ein Verfahren zur Herstellung einer gegossenen Turbinenschaufel beschrieben. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass wenigstens eine Schaufelblattwand im Bereich der Turbinenschaufelspitze eine dem Hohlraum zugewandte, eine der Schaufelblattwand zuordenbare Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde

Struktur besitzt.



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)

Gegossene Turbinenschaufel

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf eine gegossene Turbinenschaufel, mit einem Schaufelblatt, das von einer druck- und saugseitigen Schaufelblattwand begrenzt ist, die zumindest längs einer der Turbinenschaufel zuordenbaren Schaufelvorderkante miteinander verbunden sind und wenigstens einen Hohlraum beidseitig begrenzen, der im Bereich der Turbinenschaufelspitze gusserstellungsbedingt offen mündet. Ferner bezieht sich die Erfindung auf ein Giessverfahren zur Herstellung einer diesbezüglichen Turbinenschaufel, bei dem zur Ausbildung eines Hohlraumes innerhalb der Turbinenschaufel ein Gusskern verwendet wird, der die Form der Turbinenschaufel in Richtung der Turbinenschaufelspitze überragt und bei dem nach Erkalten und Separation der Turbinenschaufel vom Gusskern eine Turbinenschaufel erhalten wird.

Stand der Technik

Turbinenschaufeln, die sowohl als Lauf- als auch als Leitschaufeln ausgebildet sind, die in modernen, leistungsfähigen Gas- oder Dampfturbinenanlagen zum Einsatz kommen, werden mittels eines Giessverfahrens unter Verwendung sogenannter Gusskerne hergestellt, die während des Giessprozesses als formgebende Platzhalter für innerhalb der sich ausbildenden Turbinenschaufel befindlichen Hohlräume dienen. Derartige zumeist aus keramischen Materialien bestehende Gusskerne gilt es innerhalb der Gussform während des gesamten Giessverfahrens exakt zu positionieren, um auf diese Weise den Anforderungen hoher Masshaltigkeit für die Ausbildung möglichst dünnwandiger Turbinenschaufelwände Rechnung zu tragen. Insbesondere die Herstellung von Hochleistungsturbinenschaufeln für den Einsatz in Gasturbinenstufen, in denen die Schaufeln sehr hohen thermischen sowie auch mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, erfordert ein Höchstmass an präziser Gusskernpositio-

nierung innerhalb der Gussform, zumal die Schaufelblattwandstärke zu Zwecken einer aktiven Kühlung lediglich wenige Millimeter stark sein darf.

Die Befestigung des Gusskerns innerhalb der Gussform erfordert zumindest an einigen wenigen Stellen Fixierverstrebungen zwischen dem Gusskern und der Gussform, durch die jedoch die sich ausbildende Turbinenschaufel giesstechnisch bedingte Öffnungen erfährt, die es im Rahmen einer Nachbearbeitung teilweise oder vollständig zu verschliessen gilt.

In der WO 00/19065 A1 ist eine Gasturbinenlaufschaufel beschrieben, deren Laufschaufelspitze stirnseitig von einer ebenfalls im Rahmen des Giessprozesses hergestellte Deckplatte begrenzt ist, in der gusserstellungsbedingte Durchgangsöffnungen zu Zwecken der Fixierung des Gusskerns eingebracht sind. Im Weiteren werden bei dieser auch als geschlossen gegossen bezeichneten Turbinenlaufschaufel in eine oder mehrere dieser gusserstellungsbedingten Durchgangsöffnungen zylindrische Haltestifte eingebracht, deren an der gegenüberliegenden Seite der Deckplatte überragende Fussbereiche jeweils gefesselt werden.

Eine andere Möglichkeit zur Fixierung des Gusskerns innerhalb einer Giessform zur Herstellung einer Turbinenschaufel, insbesondere einer Turbinenlaufschaufel, besteht in der giesstechnischen Herstellung einer Turbinenschaufel mit offen ausgebildeter Laufschaufelspitze. Der Laufschaufelspitzenbereich einer derartig ausgestalteten Turbinenschaufel, hier als Turbinenlaufschaufel dargelegt, ist in Figur 2 schematisch dargestellt. Die Schaufelblattspitze wird jeweils seitlich begrenzt durch eine druckseitige Schaufelblattwand 1 sowie eine saugseitige Schaufelblattwand 2. Beide Schaufelblattwände 1, 2 sind einstückig über die Schaufelvorderkante 3 sowie auch die Schaufelhinterkante 4 verbunden und begrenzen innwandig einen Hohlraum 5, der im illustrierten Ausführungsbeispiel durch drei Zwischenwände 6, 6', 6'' unterteilt ist. Die Zwischenwände 6, 6' sowie 6'' verbinden jeweils innwandig die druck- und saugseitige Schaufelblattwand 1, 2 und unterteilen den Hohlraum 5 in jeweils getrennt von einem Kühlmittel durchströmbare Kühlkanalabschnitte.

Durch die offene Ausbildung der Schaufelspitze kann der zur Herstellung der Turbinenschaufel erforderliche Gusskern (nicht dargestellt) über die Schaufelspitze hinausragen und zur Durchführung des Giessprozesses entsprechend relativ zur Gussform fixiert werden. Verglichen zur giesstechnischen Ausbildung einer giesstechnisch geschlossenen Turbinenschaufel vereinfacht sich der giesstechnische Verfahrensaufwand erheblich. Dennoch bedarf es eines Nachbearbeitungsschrittes, um die offene Schaufelspitzenstruktur mit Hilfe einer geeignet ausgebildeten Deckplatte zu verschliessen, um letztlich einen Kühlmittelverlust durch die offene Schaufelspitzenstruktur zu unterbinden oder zumindest zu reduzieren. Zum Aufsetzen und Verbinden einer Deckplatte auf die offen gestaltete Turbinenschaufelspitze wird üblicherweise ein an die Innenkontur der von den Schaufelwänden begrenzten Hohlraum angepasstes Deckblatt eingesetzt und mit den Innenwänden der Schaufelwänden verschweisst bzw. gelötet. Um für eine ausreichend stabile Fügeverbindung zwischen dem Deckblatt und den Innenseiten der Schaufelwänden im Laufschaufelspitzenbereich zu sorgen, ist es u.a. erforderlich, die Innenwandkonturen im Laufschaufelspitzenbereich gestuft auszubilden, so dass die Deckplatte auf einem die Innenwandseite der Schaufelblattwände umlaufenden Absatz zu liegen kommt. Auch aus Gründen eines verbesserten Anstreichens der Laufschaufelspitzen an stationären Turbinenkomponenten sowie für einen kontrollierten Kühlluftaustritt ist die Deckplatte gegenüber den stirnseitig endenden Turbinenschaufelwänden abgesenkt. Im übertragenen Sinn gelten diese Überlegung, allenfalls mit gewissen Einschränkungen, auch für Turbinenleitschaufeln.

In diesem Zusammenhang sei auf die Figuren 3a, b verwiesen, die einen Querschnitt durch die in Figur 2 ersichtliche Schnittachse AA der Turbinenschaufel im Schaufelspitzenbereich zeigt. Figur 3a stellt den Laufschaufelspitzenbereich unmittelbar nach Fertigstellung des Giessprozesses dar. Hierbei begrenzen die druckseitige Schaufelblattwand 1 sowie die saugseitige Schaufelblattwand 2 beidseitig den von der Turbinenschaufel umschlossenen Hohlraum 5, der durch eine innen liegende Verbindungswand 6' in einzelne Teilvolumina unterteilt ist. In dem in Figur 3a dargestellten Fertigungsschritt weisen die Schaufelblattwände 1, 2 im Schaufelblattspitzenbereich jeweils eine Dicke a auf. Um die offene Ausbildung der Schaufelblattspitze mit Hilfe einer geeignet ausgebildeten Deckplatte 7 zu verschliessen, werden die Innenseiten

der Schaufelblattwände 1, 2 im Wege einer Materialabtragung zur Ausbildung einer Abstützfläche 8 dünner gemacht. Ein derartiges Querschnittsprofil ist in Figur 3b illustriert. Sowohl die druck- als auch saugseitige Schaufelblattwand 1, 2 weisen nun stirnseitig jeweils eine Schaufelwanddicke b auf, die gegenüber der ursprünglichen Wanddicke a um das Wandmass c reduziert ist. Die sich durch den Materialabtragungsprozess, beispielsweise im Wege eines Fräs-, Schleif- oder Abrassiv-Vorganges ergebende Abstützfläche 8 misst eine Absatzbreite c , die ausreichend gross bemessen ist, um in Verbindung mit einer Schweiss- oder Lötverbindung einen sicheren Sitz der Abdeckplatte 7 innerhalb der Laufschaufelspitze zu gewährleisten. Für die Durchführung der vorstehend erläuterten Materialabtragung zur Herstellung einer Abstützfläche 8 sind zwei Bedingungen zu erfüllen. Zum einen gilt es die Absatzbreite c grösser oder gleich einer minimal erforderlichen Absatzbreite $c_{\min}$ zu wählen, die es gilt nicht zu unterschreiten, um für eine ausreichend grosse Robustheit für die Fügeverbindung zu sorgen. Andererseits gilt es das Wanddickenmass b nicht unter ein kritisches Minimumwanddickenmass $b_{\min}$ zu vermindern, zumal bei unterschreiten des kritischen Wanddickenmasses $b_{\min}$ die konstruktiv vorgegebene Schaufelstabilität nicht mehr gewährleistet werden kann.

Für die Wanddickenwahl der im Wege des Giessprozesses herzustellenden druck- und saugseitigen Schaufelblattwände im Turbinenschaufelspitzenbereich gilt es dafür zu sorgen, die Wanddicke a zumindest so gross zu wählen, dass sie folgender Forderung entspricht: $a \geq b_{\min} + c_{\min}$. Die vorstehende Forderung ist ohne weiteres für Turbinenschaufeln mit dicker Schaufelwandstärke zu erfüllen.

Hochleistungsgasturbinenschaufeln müssen jedoch für eine möglichst hocheffiziente Kühlung ausgelegt werden, die eine möglichst dünnwandige Ausbildung der Schaufelblattwände erfordert, um grosse Temperaturdifferenzen zwischen der den Heissgasen ausgesetzten Schaufelblattwandaussenseiten und den kühlmittelbeaufschlagten Schaufelblattwandinnenseiten zu vermeiden. Treten hingegen grosse Temperaturdifferenzen zwischen beiden Schaufelblattoberflächen auf, so führt dies zu hohen thermischen Spannungen und infolge dessen zu einer geringen Lebensdauer der einzelnen Turbinenschaufeln. Daher ist es ein erklärtes Konstruktionsziel in der Ausbildung von Hochleistungsturbinschaufeln die Schaufelblattwände möglichst dünn

auszugestalten. Dies jedoch führt zu einem Konflikt im Zusammenhang mit den vorstehend beschriebenen Forderungen für eine robuste Implementierung und Verbindung einer Abdeckplatte an eine giesstechnisch im Schaufelspitzenbereich offen ausgebildete Turbinenschaufel. Durch die kühlungsbedingte Optimierung einer möglichst dünnwandig auszubildenden Turbinenschaufel können weder die Forderung $b \geq b_{\min}$ sowie auch $c \geq c_{\min}$ erfüllt werden.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine gegossene Turbinenschaufel, die grundsätzlich sowohl eine Laufschaufel als auch eine Leitschaufel sein kann, mit einem Schaufelblatt, das von einer druck- und saugseitigen Schaufelblattwand begrenzt ist, die zumindest längs einer der Turbinenschaufel zuordenbaren Schaufelvorderkante miteinander verbunden sind und wenigstens einen Hohlraum miteinander beidseitig begrenzen, der im Bereich der Turbinenschaufelspitze gussherstellungsbedingt offen mündet, derart weiterzubilden, dass trotz reduzierter Schaufelblattwandstärke eine sichere und robuste Fügung zwischen Turbinenschaufelspitze und einer Abdeckplatte möglich wird, ohne dabei die Minimalanforderungen hinsichtlich einer Mindestbreite $c_{\min}$ für die Abstützfläche sowie der Schaufelblattwanddicke $b_{\min}$ zu unterschreiten.

Wenn also im Folgenden von einer Turbinenschaufel die Rede ist, so ist darunter sowohl eine Laufschaufel als auch eine Leitschaufel zu subsumieren, unabhängig davon, ob solche Leitschaufel mit derselben Anwendungsbreite wie die Laufschaufel zur Herstellung gelangen.

Ferner gilt es ein Verfahren anzugeben, mit dem die Herstellung einer vorstehend erläuterten Turbinenschaufel möglich wird.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Gegenstand des Anspruches 9 ist ein lösungsgemässes Verfahren zur Herstellung einer diesbezüglichen Turbinenschaufel. Den Erfindungsgedanken in vorteil-

hafter Weise ausbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung insbesondere unter Bezugnahme auf die illustrierten Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

Lösungsgemäss zeichnet sich eine gegossene Turbinenschaufel mit den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruches 1 dadurch aus, dass wenigstens eine Schaufelblattwand im Bereich der Turbinenschaufelspitze eine dem Hohlraum zugewandte, eine der Schaufelblattwand zuordenbare Schaufelblattwanddicke lokal vergrössernde Struktur besitzt.

Die lösungsgemässe gegossene Turbinenschaufel stellt zunächst ein Halbfertigprodukt dar, bei dem die Voraussetzung geschaffen ist, dass trotz reduzierter Schaufelblattwanddicke im überwiegenden Schaufelblattbereich die nach oben hin offen ausgebildete Turbinenschaufelspitze sicher und zuverlässig mit einer Abdeckplatte verfügt werden kann. Die lösungsgemäss an der Turbinenschaufelspitze vorgesehene die Schaufelwanddicke lokal vergrössernde Struktur weist eine Schaufelwanddicke im Bereich der Turbinenschaufelspitze auf, die grösser ist als die minimal erforderliche Schaufelwanddicke $b_{\min}$ zuzüglich der minimalen Breite $c_{\min}$, die für eine stabile Abstützung der den Hohlraum verschliessenden Abdeckplatte sorgt. In besonders vorteilhafter Weise ist die Schaufelblattwand im Turbinenschaufelspitzenbereich vollständig umlaufend mit einer gegenüber der übrigen Schaufelblattwand vergrösserten Wanddicke ausgebildet, d. h. sowohl die saug- als auch druckseitige Schaufelblattwand sowie auch die Bereiche der Schaufelvorder- sowie -hinterkante weisen im Bereich der Turbinenschaufelspitze Wandverdickungen auf. Die lösungsgemässe Massnahme kann jedoch im einfachsten Fall auch nur lokal begrenzt an einer Schaufelwand vorgesehen werden.

Die lösungsgemässe, die Schaufelwand zuordenbare Schaufelblattwanddicke lokal vergrössernde Struktur im Schaufelspitzenbereich ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass der von der Druck- und Saugseite beidseitig begrenzte Hohlraum in Richtung der Turbinenschaufelspitze eine flaschenhalsartig verengende Kontur aufweist. Ebenfalls begrenzt eine entsprechende flaschenhalsartig ausgebildete Kontur sowohl

den in der Turbinenschaufel innenliegenden Hohlraum auch zu Seiten der Schaufelvorder- sowie –hinterkante.

Im Rahmen einer Nachbearbeitung wird mittels kontrollierter Materialabtragung die an der Turbinenschaufelspitze stirnseitig endende, die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur teilweise unter Ausbildung einer Abstützfläche, die vorzugsweise eben und orthogonal zur Schaufelblattwand orientiert ist, abgetragen. Der Materialabtragungsvorgang erfolgt vorzugsweise mittels Erosionstechnik.

Der Materialabtrag erfolgt in Richtung zur Schaufelblattlängserstreckung in einem einheitlichen Mass, so dass die sich durch den Materialabtrag an den Schaufelblattinnenwänden ausbildende Abstützfläche eine Ablageebene aufspannt, auf der die Abdeckplatte zur Auflage gebracht werden kann.

Die Abdeckplatte stützt sich auf den sich durch den Materialabtragungsvorgang herausgearbeiteten Abstützflächen seitlich ab, und liegt vorzugsweise zudem, sofern vorhanden, an den in Richtung der Turbinenschaufelspitze zugewandten Stirnseiten der im Inneren der Turbinenschaufel vorgesehenen Zwischenwänden auf. Wie bereits vorstehend erwähnt, ist es für die Realisierung des lösungsgemässen Gedankens nicht zwingend erforderlich, die vorstehend beschriebene Abstützfläche vollständig innwandig innerhalb der Turbinenschaufel umlaufend vorzusehen.

Für eine belastbare, dauerhafte Befestigung der Abdeckplatte im Turbinenschaufelspitzenbereich ist die auf der vorstehend beschriebenen Abstützfläche aufliegende Abdeckplatte mit der durch den Materialabtrag neu gebildeten Turbinenschaufelinnenwand im Turbinenschaufelspitzenbereich mittels Löt- oder Schweissverbindung verbunden.

Das der lösungsgemässen gegossenen Turbinenschaufel zugrunde liegende Herstellungsverfahren basiert auf der Nutzung eines Gusskerns zur Ausbildung wenigstens eines Hohlraums innerhalb der Turbinenschaufel, der die Form der Turbinenschaufel in Richtung der Turbinenschaufelspitze überragt und bei dem nach Erkalten und Separation der Turbinenschaufel vom Gusskern eine Turbinenschaufel erhalten

wird, die ein Schaufelblatt aufweist, das von einer druck- und saugseitigen Schaufelblattwand begrenzt ist, die zumindest längst einer der Turbinenschaufel zuordenbaren Schaufelvorderkante miteinander verbunden sind und den wenigstens einen Hohlraum miteinander beidseitig begrenzen, der im Bereich der Turbinenschaufelspitze gussherstellungsbedingt offen mündet. Eine derartige Turbinenschaufel ist im Vergleich zu im Turbinenschaufelspitzenbereich weitgehend geschlossen ausgebildeten Turbinenschaufeln mit einem geringeren verfahrenstechnischen Aufwand sowie dadurch bedingt kostengünstiger herstellbar. Um einerseits den Forderungen nach einer möglichst dünn auszubildenden Turbinenschaufelblattwand nachzukommen, darüber hinaus jedoch den bestehenden hohen Anforderungen an Strukturfestigkeit zu erfüllen, wird die Turbinenschaufel lösungsgemäss mit wenigstens einer Schaufelblattwand gegossen, die im Bereich der Turbinenschaufelspitze eine Struktur vorsieht, die eine der Schaufelblattwand an der Turbinenschaufelspitze zuordenbare Schaufelwanddicke aufweist, die grösser bemessen ist als eine Schaufelblattwanddicke in einem von der Turbinenschaufelspitze beabstandeten Schaufelblattwandbereich. Eine derart, als Halbfertigprodukt vorliegende gegossene Turbinenschaufel wird nach Erkalten und Separieren vom Gusskern im Wege eines Materialabtragsverfahrens derart nachbearbeitet, dass von Seiten der Turbinenschaufelspitze die die Schaufelblattwanddicke lokal vergrössernde Struktur zum Teil abgetragen wird. Der Materialabtragungsvorgang erfolgt innwändig an der Turbinenschaufelspitze dadurch, so dass sich eine Stufenstruktur ausbildet mit einem ebenen und orthogonal zur Schaufelblattwand orientierten Flächenabschnitt, der von der dickenreduzierten Schaufelblattwand in Richtung der Turbinenschaufelspitze überragt wird. Der sich ausbildende Flächenabschnitt dient als Abstützfläche für die Auflage eines Abdeckelementes, das den wenigstens einen Hohlraum innerhalb der Turbinenschaufel zumindest teilweise in Richtung der zur Turbinenschaufelspitze abdeckt oder entsprechend abdichtet. Hierfür wird das Abdeckelement mit entsprechender Löt- und Schweissttechnik mit der das Abdeckelement zirkular umgebenden Schaufelblattinnenwand vorzugsweise vollständig umlaufend verfügt.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1a – e Sequenzbilddarstellung zur Illustration der Herstellung einer lösungsgemäss ausgebildeten Turbinenlaufschaufel,
- Fig. 2 perspektivische Darstellung einer offen ausgebildeten Turbinenlaufschaufelspitze nach Stand der Technik,
- Fig. 3a, b Längsschnittdarstellungen einer Turbinenlaufschaufelspitze gemäss Stand der Technik sowie
- Fig. 4 Längsschnittdarstellung durch eine Turbinenlaufschaufelspitze mit Laufschaukelhinterkante.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

Die Figuren 1 a – e entsprechen Schnittbildern durch eine Turbinenlaufschaufelspitze längs einer der in Figur 2 eingezeichneten Schnittebene A-A. In Figur 1a ist zur Illustration der Ausbildung einer Turbinenlaufschaukel mit offen ausgebildeter Turbinenlaufschaukelspitze im Wege eines an sich bekannten Giessverfahrens illustriert. Zur Ausbildung des zwischen den Schaukelblattwänden 1, 2 befindlichen inneren Hohlraums 5 ist während des Giessprozesses ein Gusskern 9 eingebracht, dessen gleichbleibende Position während des gesamten Giessprozesses durch entsprechende Fixierung innerhalb der Gussform (nicht dargestellt) im Bereich des über die Turbinenlaufschaukelspitze hinausragenden Kernbereiches 9' erfolgt. Gemäss der in Figur 1a illustrierten Situation ist der Gusskern 9 mit konstanter Dicke ausgebildet, so dass sich während des Giessverfahrens die Schaukelblattwände 1, 2 mit ebenso konstant vorgegebener Schaukelblattwand a ergeben.

Zur Vermeidung der sich insbesondere bei der Herstellung hochmoderner Turbinenlaufschaukeln ergebenden Problematik, die vorstehend unter Bezugnahme auf die Figuren 3a, b bereits erläutert worden ist, wird lösungsgemäss vorgeschlagen, während des Giessprozesses einen Gusskern 10 einzusetzen, der aus der Bilddarstel-

lung gemäss Figur 1b zu entnehmen ist. Der neuartige Gusskern 10 weist im Bereich der Turbinenlaufschaufelspitze eine flaschenhalsartige Verjüngung auf, wodurch die Schaufelblattwände 1, 2 während des Giessprozesses im Bereich der Turbinenlaufschaufelspitze jeweils eine die Schaufelblattwanddicke a lokal vergrössernde Struktur 11 erhalten. Die Strukturwanddicke a' der die Schaufelblattwanddicke lokal vergrössernden Struktur 11 ist dabei grösser als die Schaufelblattwand a , ausgebildet, die das Schaufelblatt im übrigen, von der Turbinenlaufschaufelspitze beabstandeten Bereich besitzt.

Insbesondere gilt für die Wahl der vergrösserten Strukturwanddicke a' : $a' > a > b_{\min} + c_{\min}$.

In der Sequenzbilddarstellung gemäss Figur 1c ist der Gusskern 10 aus der erkalten Turbinenlaufschaufel entfernt, deren Schaufelblattwände 1, 2 im Turbinenlaufschaufelspitzenbereich einen flaschenhalsartig ausgebildeten Hohlraum 5 begrenzen.

Im Wege eines Materialabtragungsverfahrens werden nun die die Schaufelwanddicke lokal vergrössernden Strukturen 11 in der in Figur 1 d illustrierten Weise abgetragen. Hierbei wird zum einen die Wanddicke der Schaufelblattwand im Turbinenlaufschaufelspitzenbereich ausgedünnt, so dass die dort entstehende Schaufelblattwand eine minimale Wanddicke von $b_{\min}$ nicht unterschritten wird, die den Strukturfestigkeitsansprüchen für den Betrieb einer Turbinenlaufschaufel genügt. Zudem entsteht im Wege des Materialabtragungsprozesses innerhalb einer von der Turbinenlaufschaufelspitze gemessenen Abtragetiefe t eine Abstützfläche 8, deren minimale Erstreckung orthogonal zur Schaufelblattwand 1, 2 $c_{\min}$ entspricht, bei der ein festes Fügen eines Abdeckelementes mit der Abstützfläche sichergestellt ist.

In Figur 1 e ist eine Deckplatte 7 auf die sich innwändig zwischen beiden Schaufelblattwänden 1, 2 gegenüberliegenden Abstützflächen 8 aufgebracht, wodurch der mit Kühlluft durchspülte Hohlraum 5 in Richtung der Turbinenlaufschaufelspitze abgedeckt wird. Die Deckplatte 7 wird typischerweise mit den Innenwandbereichen der Laufschaufelblätter 1, 2, fest verlötet bzw. verschweisst. Die Deckplatte 7 kann zu

Zwecken einer gezielten Kühlmittelabführung aus dem Hohlraum 5 mit einer entsprechend dimensionierten Öffnung 7' oder mehreren Öffnungen versehen sein.

Figur 4 zeigt einen Längsschnitt durch eine Turbinenlaufschaufel im Bereich der Turbinenlaufschaufelspitze längs eines Schnittes BB, der aus Figur 2 zu entnehmen ist. Das in Figur 4 illustrierte Ausführungsbeispiel verdeutlicht das Vorsehen einer die Schaufelwanddicke lokal vergrößernden Struktur 11 auch innwandig längs zur Turbinenlaufschaufelhinterkante 4, so dass die nicht in Figur 4 illustrierte Abdeckplatte 7 auch zu Seiten der Hinterkante stabil abgestützt wird. Die vorzugsweise vollständig längs der Innenwandkontur der Laufschaufelspitze umlaufenden die Schaufelwanddicke vergrößernde Struktur bildet eine für die Abdeckplatte einheitliche Abdeckebene E die vorzugsweise mit den Stirnflächen 6s etwaiger im Inneren der Turbinenlaufschaufel vorgesehener Trennwände 6 zusammenfällt. Auf diese Weise lagert die Abdeckplatte 7 nicht nur an den seitlichen Abstützflächen 8, sondern wird zudem durch die inneren Trennwände 6 stirnseitig unterstützt.

Bezugszeichenliste

- 1 Druckseitige Schaufelblattwand
- 2 Saugseitige Schaufelblattwand
- 3 Schaufelvorderkante
- 4 Schaufelhinterkante
- 5 Hohlraum
- 6, 6', 6'' Interne Trennwände
- 6s Stirnseite der Trennwand
- 7 Deckplatte
- 8 Abstützfläche
- 9 Gusskern
- 9' Stirnseitige über das offene Ende der Turbinenschaufel hinausragender Gusskern
- 10 Gusskern
- 11 die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur
- E Auflageebene für die Deckplatte

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel, die durch einen Giessprozess hergestellt ist, mit einem Schaufelblatt, das von einer druck- und saugseitigen Schaufelblattwand (1, 2) begrenzt ist, die zumindest längs einer der Turbinenschaufel zuordenbaren Schaufelvorderkante (3) miteinander verbunden sind und wenigstens einen Hohlraum (5) miteinander beidseitig begrenzen, der im Bereich der Turbinenschaufelspitze gusserstellungsbedingt offen mündet, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Schaufelblattwand im Bereich der Turbinenschaufelspitze eine dem Hohlraum (5) zugewandte, eine der Schaufelblattwand zuordenbare Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur (11) besitzt.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Turbinenschaufel eine Laufschaufel oder eine Leitschaufel ist.
3. Turbinenschaufel nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur (11) einen der Turbinenschaufelspitze zugewandten ebenen und orthogonal zur Schaufelblattwand orientierten Flächenabschnitt (8) aufweist.
4. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur (11) eine der Turbinenschaufelspitze abgewandte, den Hohlraum (5) in Richtung der Turbinenschaufelspitze einseitig flaschenhalsartig verengende Kontur aufweist.
5. Turbinenschaufelblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaufelblattwand die die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur (11) in Richtung der Turbinenschaufelspitze überragt, und dass die Schaufelblattwand an der Turbinenschaufelspitze einseitig stirnseitig endet.

6. Turbinenschaufelblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur (11) einstückig mit der Schaufelblattwand während eines Giessprozesses hergestellt ist.
7. Turbinenschaufelblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die druck- und saugseitige Schaufelblattwand (1, 2) eine gemeinsame Querschnittsebene aufweisen, in der der von beiden Schaufelblattwänden begrenzte Hohlraum (5) bedingt durch das Vorsehen jeweils einer die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur (11) sowohl an der druck- als auch an der saugseitigen Schaufelblattwand (1, 2) lokal flaschenartig verjüngt ist.
8. Turbinenschaufelblatt nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur (11) sowohl an der druck- als auch saugseitigen Schaufelblattwand (1, 2) jeweils einen ebenen und orthogonal zur jeweiligen Schaufelblattwand orientierten Flächenabschnitt (8) aufweisen, die beide in einer gemeinsamen Ebene (E) liegen.
9. Turbinenschaufelblatt nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die die wenigstens eine die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur (11) mit wenigstens einem den Hohlraum (5) zumindest teilweise in Richtung der Turbinenschaufelspitze abdeckenden Abdeckelement (7) gefügt ist.
10. Turbinenschaufel nach 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Abdeckelement (7) jeweils an den Flächenabschnitt (8) der die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernden Struktur (11) der druck- und saugseitigen Schaufelblattwand (1, 2) unter Ausbildung einer Schweiss- oder Lötverbindung gefügt ist.
11. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel im Wege eines Giesprozesses, bei dem zur Ausbildung eines Hohlraumes (5) innerhalb der Turbinen-

schaufel ein Gusskern (10) verwendet wird, der die Form der Turbinenschaufel in Richtung der Turbinenschaufelspitze überragt und bei dem nach Erkalten und Separation der Turbinenschaufel vom Gusskern (10) eine Turbinenschaufel erhalten wird, die ein Schaufelblatt aufweist, das von einer druck- und saugseitigen Schaufelblattwand (1, 2) begrenzt ist, die zumindest längs einer der Turbinenschaufel zuordenbaren Schaufelvorderkante (3) miteinander verbunden sind und den wenigstens einen Hohlraum (5) miteinander beidseitig begrenzen, der im Bereich der Turbinenschaufelspitze gusserstellungsbedingt offen mündet, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Schaufelblattwand (1, 2) im Bereich Turbinenschaufelspitze mit einer Struktur (11) gegossen wird, die eine der Schaufelblattwand an der Turbinenschaufelspitze zuordenbare Schaufelwanddicke aufweist, die grösser bemessen ist als eine Schaufelwanddicke in einem von der Turbinenschaufelspitze beabstandeten Schaufelwandbereich, und dass mittels eines Materialabtrageverfahrens an der erkalteten und vom Gusskern (10) separierten Turbinenschaufel von Seiten der Turbinenschaufelspitze die die Schaufelblattwanddicke lokal vergrößernde Struktur zum Teil abgetragen wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Materialabtrag derart erfolgt, dass beabstandet zur Turbinenschaufelspitze ein ebener und orthogonal zur Schaufelblattwand (1, 2) orientierter Flächenabschnitt (8) erzeugt wird, der von der Schaufelblattwand (1, 2) in Richtung der Turbinenschaufelspitze überragt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass an die zum Teil abgetragene Struktur (11) ein Abdeckelement (7) gefügt wird, durch das der wenigstens ein Hohlraum (5) zumindest teilweise in Richtung zur Turbinenschaufelspitze abgedeckt oder abgedichtet wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Materialabtrag derart erfolgt, dass die Schaufelblattwand, die sich über die Struktur (11) in Richtung der Turbinenschaufelspitze erstreckt wenigstens eine Schaufelwanddicke aufweist, die eine minimale Wanddicke ($b_{\min}$)

nicht unterschreitet, die an die Turbinenschaufel feststellbaren Strukturfestigkeitsansprüchen genügt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Materialabtrag derart erfolgt, dass der ebene und orthogonal zur Schaufelblattwand orientierte Flächenabschnitt (8) wenigstens eine minimale Erstreckung ($c_{\min}$) orthogonal zur Schaufelblattwand vorsieht, die ein festes Fügen eines Abdeckelementes (7) mit der Fügefläche sicherstellt.

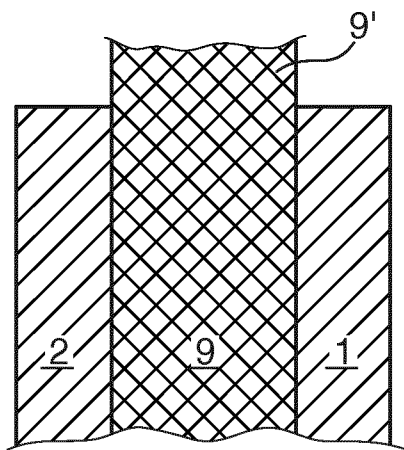


Fig. 1a

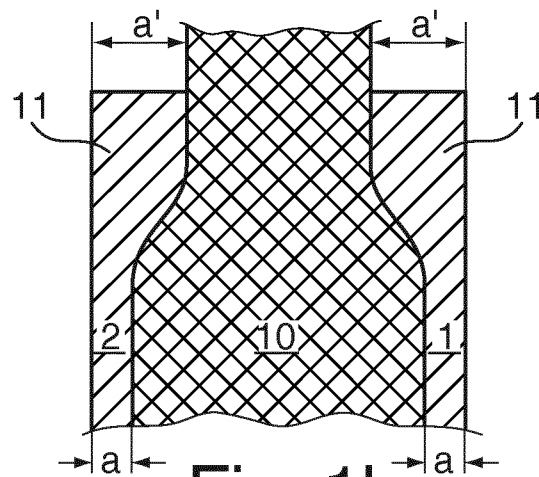


Fig. 1b

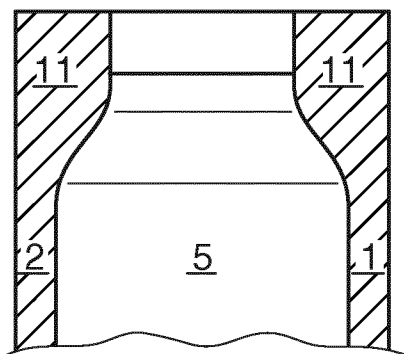


Fig. 1c

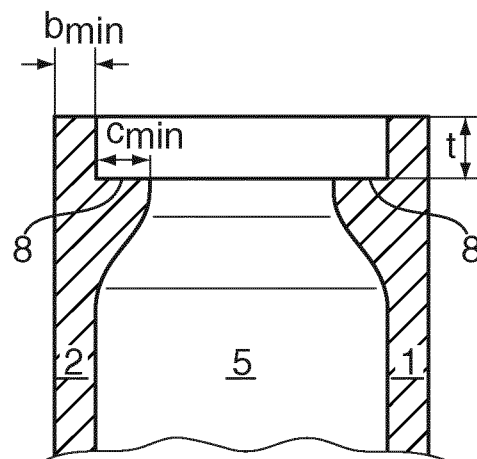


Fig. 1d

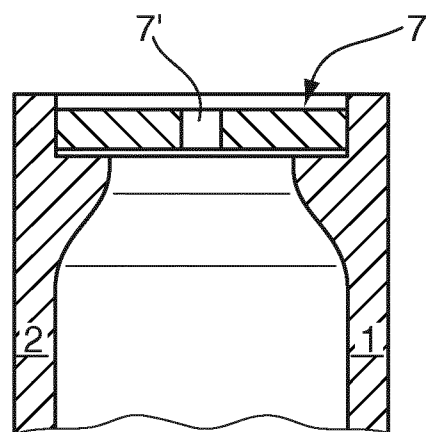


Fig. 1e

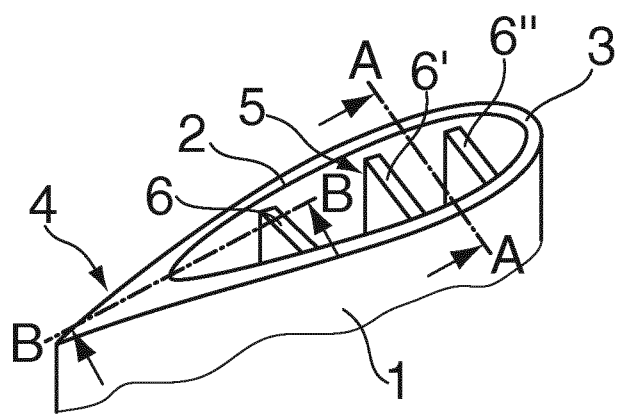


Fig. 2

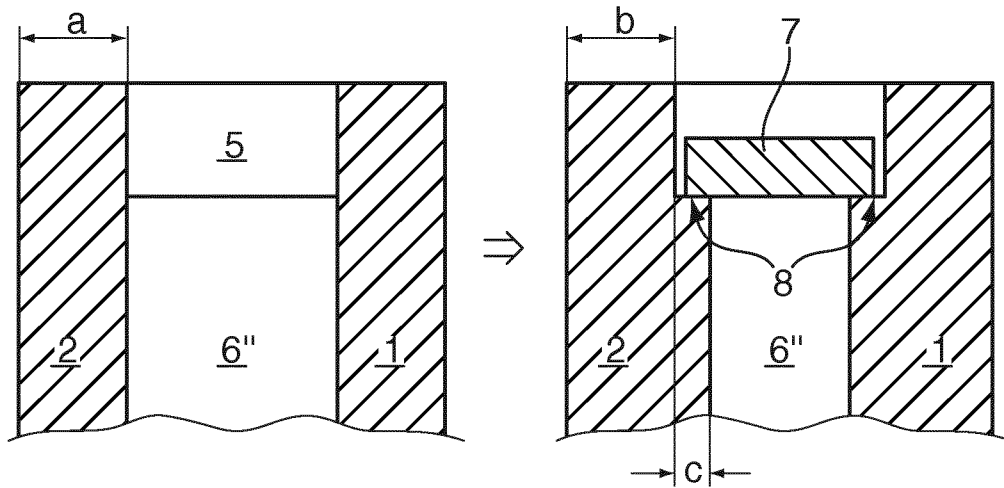


Fig. 3a

Fig. 3b

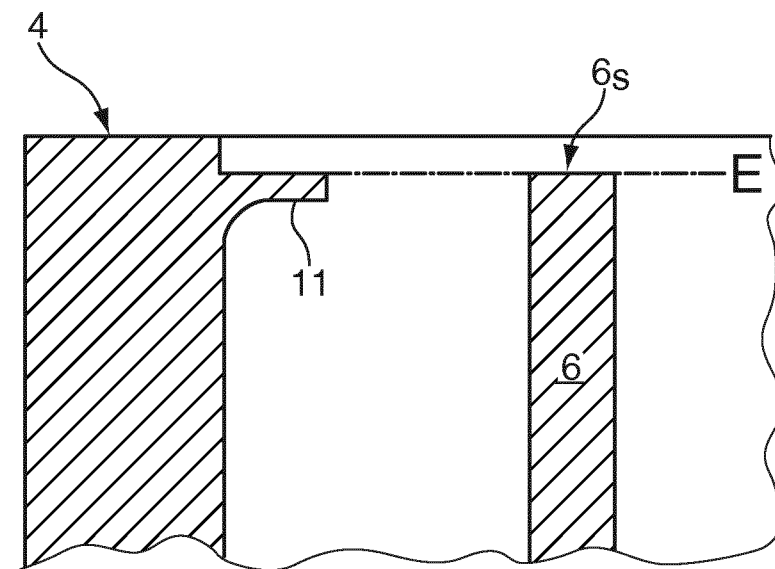


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/061535

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F01D5/18 F01D5/20
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)
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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2010/080711 A1 (PAGE RICHARD H [US] ET AL) 1 April 2010 (2010-04-01) figure 5 paragraph [0007] paragraph [0022] paragraph [0003] -----	1-15
X	US 2005/196277 A1 (WANG JOHN Z [US] ET AL) 8 September 2005 (2005-09-08) figure 4 paragraph [0025] paragraph [0005] -----	1-15
X	US 5 183 385 A (LEE CHING-PANG [US] ET AL) 2 February 1993 (1993-02-02) figure 3 column 3, line 65 - column 4, line 2 ----- -/--	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

5 September 2012

Date of mailing of the international search report

12/09/2012

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

Burattini, Paolo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2012/061535

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007/258825 A1 (SHADBOLT SIMON [GB] ET AL) 8 November 2007 (2007-11-08) figure 5 paragraph [0015] -----	1-15
X	EP 1 772 593 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 11 April 2007 (2007-04-11) figure 2 paragraph [0008] -----	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/061535

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010080711	A1	01-04-2010	NONE

US 2005196277	A1	08-09-2005	CH 698554 B1 31-08-2009
		CN 1664316 A	07-09-2005
		GB 2412144 A	21-09-2005
		JP 2005248958 A	15-09-2005
		US 2005196277 A1	08-09-2005

US 5183385	A	02-02-1993	NONE

US 2007258825	A1	08-11-2007	NONE

EP 1772593	A2	11-04-2007	CA 2561474 A1 04-04-2007
		CN 1978868 A	13-06-2007
		EP 1772593 A2	11-04-2007
		JP 2007100697 A	19-04-2007
		US 2007077143 A1	05-04-2007

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F01D5/18 F01D5/20
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2010/080711 A1 (PAGE RICHARD H [US] ET AL) 1. April 2010 (2010-04-01) Abbildung 5 Absatz [0007] Absatz [0022] Absatz [0003]	1-15
X	----- US 2005/196277 A1 (WANG JOHN Z [US] ET AL) 8. September 2005 (2005-09-08) Abbildung 4 Absatz [0025] Absatz [0005]	1-15
X	----- US 5 183 385 A (LEE CHING-PANG [US] ET AL) 2. Februar 1993 (1993-02-02) Abbildung 3 Spalte 3, Zeile 65 - Spalte 4, Zeile 2 ----- -/-	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

5. September 2012

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/09/2012

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

Burattini, Paolo

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2007/258825 A1 (SHADBOLT SIMON [GB] ET AL) 8. November 2007 (2007-11-08) Abbildung 5 Absatz [0015] -----	1-15
X	EP 1 772 593 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 11. April 2007 (2007-04-11) Abbildung 2 Absatz [0008] -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/061535

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie			Datum der Veröffentlichung
US 2010080711	A1	01-04-2010	KEINE			

US 2005196277	A1	08-09-2005	CH	698554 B1		31-08-2009
			CN	1664316 A		07-09-2005
			GB	2412144 A		21-09-2005
			JP	2005248958 A		15-09-2005
			US	2005196277 A1		08-09-2005

US 5183385	A	02-02-1993	KEINE			

US 2007258825	A1	08-11-2007	KEINE			

EP 1772593	A2	11-04-2007	CA	2561474 A1		04-04-2007
			CN	1978868 A		13-06-2007
			EP	1772593 A2		11-04-2007
			JP	2007100697 A		19-04-2007
			US	2007077143 A1		05-04-2007
