



(11)

EP 2 316 988 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
08.07.2015 Patentblatt 2015/28

(51) Int Cl.:
C23C 24/10 ^(2006.01) **C23C 28/00** ^(2006.01)
C23C 28/02 ^(2006.01) **F01D 5/28** ^(2006.01)
F01D 11/12 ^(2006.01) **F01D 5/20** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10188806.3**

(22) Anmeldetag: **26.10.2010**

(54) Verschleiss- und oxidationsbeständige Turbinenschaufel

Wear-resistant and oxidation-resistant turbine blade

Aube de turbine résistant à l'usure et à l'oxydation

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **02.11.2009 DE 102009051661**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.05.2011 Patentblatt 2011/18

(73) Patentinhaber: **ALSTOM Technology Ltd
5400 Baden (CH)**

(72) Erfinder:
• **Hoebel, Matthias
5210, Windisch (CH)**

- **Ambrosy, Günter
5404, Baden-Dättwil (CH)**
- **Reinert, Felix
5430, Wettingen (CH)**
- **Barril, Stephane
5413, Birmenstorf (CH)**

(74) Vertreter: **Alstom Technology Ltd
CHTI Intellectual Property
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden (CH)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 245 787 WO-A1-2009/083000
DE-A1-102004 059 904 GB-A- 2 010 982
GB-A- 2 075 129

EP 2 316 988 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Kraftwerks- und Werkstofftechnik. Sie betrifft eine verschleiss- und oxidationsbeständige Turbinenschaufel sowie ein Herstellungsverfahren für eine derartige verschleiss- und oxidationsbeständige Turbinenschaufel.

Stand der Technik

[0002] Die Verringerung von Leckageverlusten in Turbinen ist seit mehreren Jahrzehnten Gegenstand intensiver Entwicklungsarbeiten. Während des Betriebes einer Gasturbine ist eine Relativbewegung zwischen Rotor und Gehäuse unvermeidbar. Der daraus resultierende Verschleiss des Gehäuses bzw. der Schaufeln führt dazu, dass die Dichtwirkung nicht mehr gegeben ist. Als Lösung für dieses Problem wird eine Kombination von dicken abschleifbaren Beschichtungen am Hitzeschild mit abrasiven Schutzschichten an den Schaufelspitzen vorgesehen.

[0003] Bereits seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts kennt man Methoden, zusätzliche Beschichtungen auf Schaufelspitzen aufzubringen oder durch eine geeignete Modifikation der Schaufelspitze die Verschleissbeständigkeit zu erhöhen. Es sind ebenfalls verschiedene Methoden vorgeschlagen worden, um solche Schutzschichten durch eine Kombination von Abrasivteilchen (Karbiden, Nitriden, etc.) mit oxidationsresistenten Materialien gleichzeitig beständig gegenüber Reibkontakten und durch das Heissgas verursachter Oxidation zu machen. Viele der vorgeschlagenen Methoden sind jedoch in der Herstellung kostenintensiv und komplex, was einen kommerziellen Einsatz erschwert.

[0004] Eine der populären Strategien besteht deshalb darin, auf den Verschleisschutz der Schaufelspitze ganz zu verzichten und das Hitzeschild mit speziellen, porösen keramischen Einreibschichten zu versehen. Diese können auf Grund ihrer hohen Porosität in gewissem Umfang auch von ungeschützten Schaufelspitzen eingerieben werden. Mit dieser Methode sind jedoch erhebliche technische Risiken verbunden, da die porösen keramischen Einreibschichten nicht die gleiche Erosionsbeständigkeit wie dichte Schichten gewährleisten. Ein weiteres Risiko besteht in betriebsbedingten Veränderungen der porösen keramischen Einreibschichten (Verdichtung durch Sintern), die sich negativ auf die tribologischen Eigenschaften auswirken können. Aus diesem Grund ist bei der Verwendung keramischer Schutzschichten auf Hitzeschildern eine Kombination mit verschleissfesten (abrasiven) Schaufelspitzen ratsam.

[0005] In den letzten Jahrzehnten sind mehrere Verfahren zur Erzeugung abrasiver Schaufelspitzen entwickelt und durch zahlreiche Patente geschützt worden, siehe z.B. US 6194086 B1. Der Einsatz des Laserauftragsschweissens (Englisch: Laser Metal Forming, ab-

gekürzt LMF) zum Aufbau abrasiver Schaufelspitzen ist zwar seit Beginn der 90-er Jahre bekannt (siehe beispielsweise DE 10 2004 059 904 A1), diese Methode wird in industriellem Massstab jedoch noch selten eingesetzt.

[0006] Weitere relevante Verfahren sind aus den Anmeldungen GB 2075 129 A und WO 2009/083000 A1 bekannt.

10 Darstellung der Erfindung

[0007] Ziel der Erfindung ist es, die Nachteile des bekannten Standes der Technik zu vermeiden. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verschleiss- und oxidationsbeständige Turbinenschaufel zu entwickeln, welche sowohl für die Neuteilfertigung, als auch für das Rekonditionieren (Retrofit) anwendbar ist und für deren Herstellung der bereits bestehende Fertigungsprozess nur minimal angepasst werden muss.

[0008] Die Besonderheit der hier beschriebenen Ausführung eines solchen Bauteils besteht in der bestmöglichen Kompatibilität zu konventionellen Turbinenschaufeln und deren Fertigungsprozessen. Dies erfordert nur einen geringen Aufwand für die Umstellung derzeitiger Fertigungsabläufe und öffnet sehr interessante Perspektiven für Rekonditionierung und Retrofit.

[0009] Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die verschleiss- und oxidationsbeständige Turbinenschaufel gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 durch folgende Merkmale gekennzeichnet ist:

- die mindestens eine erste oxidationsbeständige Schutzschicht ist eine metallische Schicht, insbesondere eine MCrAlY-Schicht (M = Ni, Co oder Kombination beider Elemente)
- diese erste Schutzschicht ist zumindest an der inneren und äusseren Kronenkante bzw. Stegkante angeordnet,
- diese erste Schutzschicht ist an der radial aussen gelegenen Schaufelspitze der Turbinenschaufel nicht vorhanden und
- die radial aussen gelegene Schaufelspitze besteht aus einer mittels bekanntem Laserauftragsschweissen aufgebauten zweiten mindestens einlagigen verschleiss- und oxidationsbeständigen Schutzschicht, wobei diese zweite Schutzschicht auf der Schaufelspitze entlang der äusseren und/oder inneren Kronenkante bzw. Stegkante zumindest teilweise mit der dort angeordneten ersten metallischen Schutzschicht überlappt.

[0010] Das erfindungsgemässe Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäss Oberbegriff des Patentanspruches 12 ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- die mindestens eine oxidationsbeständige Schutz-

schicht an der radial aussen gelegenen Schaufelspitze wird durch kontrollierte mechanische Bearbeitung, insbesondere Abschleifen, CNC Fräsen, und/oder chemisches Entschichten, entfernt und

- die verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht wird anschliessend mittels bekanntem Laserauftragsschweissen in einer Lage oder in mehreren Lagen auf die Schaufelspitze derart aufgebracht, dass sie entlang der äusseren und/oder inneren Kronenkante bzw. Stegkante zumindest teilweise mit der vorher aufgetragenen ersten metallischen Schutzschicht, aber nicht mit der wahlweise vorher aufgetragenen keramischen Wärmedämmschicht (TBC = Thermal Barrier Coating) überlappt.

[0011] Die Vorteile der Erfindung bestehen darin, dass der Grundkörper der Turbinenschaufel an allen kritischen Oberflächen, die dem Heissgas ausgesetzt sind, gegen Oxidation geschützt wird und gleichzeitig die Schaufelspitze tolerant gegenüber Reibkontakten mit dem Hitzeschild ist, was eine Verkleinerung des Heissgasspaltes und damit eine Verringerung der Leckageverluste erlaubt. Auf diese Weise kann der Wirkungsgrad der Turbine signifikant gesteigert werden.

[0012] Die erfindungsgemässe Schaufel kann durch ein kostengünstiges und einfach umsetzbares Verfahren hergestellt werden.

[0013] Durch die erhöhte Verschleissbeständigkeit der Turbinenschaufel gegenüber Reibkontakten können relativ dichte keramische Beschichtungen an den Hitzeschildern appliziert werden. Somit kann ein gutes Einreibverhalten mit der erforderlichen Langzeit-Erosionsbeständigkeit der keramischen Beschichtungen auf den Hitzeschildern kombiniert werden.

[0014] Von besonderem Vorteil ist, dass die Turbinenschaufel direkt nach dem Laserauftragsschweissen (LMF-Schritt) ohne eine weitere Wärmebehandlung in den Rotor der Turbine eingeschaufelt und somit für den Turbinenbetrieb eingesetzt werden kann.

[0015] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0016] So kann beispielsweise die metallische Schutzschicht von einer keramischen Wärmedämmschicht bedeckt sein und die durch Laserauftragsschweissen aufgetragene zweite oxidations- und verschleissbeständige Schutzschicht überlappt zumindest teilweise nur mit der metallischen Schutzschicht, nicht aber mit der keramischen Wärmedämmschicht. Dadurch wird ein optimaler Oxidationsschutz erreicht und die Integrität der TBC wird nicht beeinträchtigt, d.h. ein Abplatzen der TBC wird verhindert.

[0017] Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht aus einem Abrasivmaterial, welches vorzugsweise kubisches Bornitrid (cBN) ist, und aus einem oxidationsbeständigen metallischen Bindermaterial besteht, insbesondere mit folgender chemischen Zusammensetzung (Angaben in Gew.-%) aufweist: 15-30 Cr, 5-10 Al, 0.3-1.2

Y, 0.1-1.2 Si, 0-2 andere, Rest Ni, Co.

[0018] Von Vorteil ist ausserdem, wenn der Anteil an Abrasivmaterial in der verschleiss- und oxidationsbeständigen mehrlagigen Schutzschicht in radialer Richtung nach aussen zunimmt, weil das eine optimale Anpassung an die Beanspruchungsbedingungen gewährleistet.

[0019] Die Erfindung kann für alle Schaufeltypen einer Turbine eingesetzt werden. Bei Schaufeln ohne Deckband (shroud) wird die Abrasivschicht dabei auf die Krone (oder einen Teil der Krone) aufgebracht. Bei Schaufeln mit Deckband kann die Methode zum besseren Verschleisschutz des Deckbandstegs eingesetzt werden.

[0020] Die beschriebene Realisierung der Turbinenschaufel ist sowohl für die Neuteilfertigung, als auch für das Rekonditionieren (Retrofit) anwendbar. Dabei muss der bestehende Fertigungsprozess nur minimal angepasst werden.

[0021] Ein besonders interessantes kommerzielles Potential besteht im Retrofit bzw. Rekonditionieren bestehender Schaufeln. Derartige Schaufeln können mit dem erfindungsgemässen Verfahren modifiziert werden, um beim Neueinbau geringere Leckageverluste und damit einen verbesserten Wirkungsgrad der Turbine zu erreichen. Für diese Option muss dabei vorher nicht eine eventuell bereits bestehende Schutzschicht auf dem Schaufelblatt entfernt werden, was ein vereinfachtes Herstellungsverfahren ermöglicht.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0022] In den Zeichnungen sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Turbinenschaufel für den Rotor einer Gasturbine mit einer als Krone ausgebildeten Schaufelspitze gemäss einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- Fig. 2 einen schematischen Schnitt entlang der Linie II-II in Fig. 1;
- Fig. 3 fotografische Aufnahmen von mit dem LMF-Verfahren erzeugten verschleiss- und oxidationsbeständigen Panzerungen von Turbinenschaufelspitzen in zwei erfindungsgemässen Varianten;
- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand einer Turbinenschaufel mit Deckband;
- Fig. 5 die Fertigungsabfolge bei der Herstellung einer Turbinenschaufel gemäss der Erfindung in zwei Varianten;
- Fig. 6 die Fertigungsabfolge bei der Herstellung einer Turbinenschaufel gemäss der Erfindung in einer weiteren Variante und
- Fig. 7 eine beispielhafte Beschichtungsvorrichtung für das LMF Verfahren.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0023] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der Fig. 1 bis 6 näher erläutert.

[0024] Fig. 1 zeigt in einer perspektivischen Darstellung eine Turbinenschaufel 1 für einen (hier nur schematisch angedeuteten) Rotor 13 einer Gasturbine, während in Fig. 2 ein Schnitt entlang der Linie II-II in Fig. 1 vergrößert dargestellt ist. Die Turbinenschaufel 1 weist ein sich in radialer Richtung r (bezogen auf den Rotor) erstreckendes Schaufelblatt 2 auf, welches an der Schaufelspitze 9 als Krone 3 mit sich in radialer Richtung erstreckenden innerer und äusserer Kronenkanten ausgebildet ist. Das Grundmaterial des Schaufelblattes ist beispielsweise eine Nickel-Basis-Superlegierung. Die Oberfläche des Schaufelblattes ist zumindest an den Kronenkanten (s. Fig. 2) mit einer oxidationsbeständigen Schutzschicht 4 beschichtet, hier einer metallischen MCrAlY-Schicht, welche bevorzugt durch an sich bekannte Plasmaspritzverfahren aufgebracht wurde. An der radial ganz aussen gelegenen Schaufelspitze 9 der Turbinenschaufel 1 ist diese metallische Schutzschicht 4 nicht vorhanden, und zwar entweder deshalb, weil in den vorangegangenen Verfahrensschritten zur Herstellung der Turbinenschaufel keine derartige Schutzschicht aufgebracht worden ist, oder weil diese mit Hilfe mechanischer und/oder chemischer Methoden entfernt worden ist. In einem letzten Verfahrensschritt zur Herstellung der fertigen Turbinenschaufel wird erfindungsgemäss die radial aussen gelegene Schaufelspitze aus einer mittels bekanntem Laserauftragsschweissen aufgebauten zweiten verschleiss- und oxidationsbeständigen Schutzschicht 5 aufgebaut, wobei diese zweite Schutzschicht 5 auf der Schaufelspitze 9 entlang der äusseren und/oder inneren Kronenkante zumindest teilweise mit der dort angeordneten ersten metallischen Schutzschicht 4 überlappt. Die Schutzschicht 5 kann dabei einlagig oder auch mehrlagig sein. Insbesondere mit mehrlagigen sich überlappenden Schutzschichten 5, welche mittels LMF aufgebracht werden, kann gut eine Variation der Länge L der Turbinenschaufel 1 realisiert werden.

[0025] Die Schutzschicht 5 besteht aus einem Abrasivmaterial 6, welches vorzugsweise kubisches Bornitrid (cBN) ist, und einem oxidationsbeständigen Bindermaterial, welches vorzugsweise folgende chemische Zusammensetzung (Angaben in Gew.-%) aufweist: 15-30 Cr, 5-10 Al, 0.3-1.2 Y, 0.1-1.2 Si, 0-2 andere, Rest Ni, Co. Ein konkret angewendetes gut geeignetes Bindermaterial ist z. B. die kommerzielle Legierung Amdry995.

[0026] Besonders gut ist das an den Fig. 3a und 3b zu sehen, die Fotos von erfindungsgemäss beschichteten Schaufelspitzen zeigen. In der verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht 5 kann man sehr gut die spitzen cBN-Teilchen als Abrasivmaterial 6 erkennen, die im Bindermaterial 7 eingebettet sind. Diese Schutzschicht 5 wurde durch LMF mit Hilfe eines fasergekoppelten Hochleistungsdiodenlasers mit max. 1000W Aus-

gangsleistung realisiert. In Fig. 3a (links) überlappt die neue Beschichtung teilweise mit einer vorgängig durch Plasmaspraysen aufgetragenen MCrAlY-Schutzschicht 4. In Fig. 3b hat die Turbinenschaufel 1 auf der MCrAlY-Schicht 4 eine zusätzliche keramische Wärmedämmschicht (TBC) 4a.

[0027] Fig. 4 zeigt schematisch ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemässe Turbinenschaufel 1 mit einem Deckband 11, das radial aussen an der Schaufelspitze angeordnet ist und einen Steg 12 aufweist. Auch hier kann durch die mittels LMF aufgetragene verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht 5, welche die metallische Schutzschicht 4 zumindest teilweise überlappt, eine qualitativ sehr gute Schaufel erreicht werden.

[0028] Das Besondere des hier beschriebenen Ansatzes besteht in der speziellen Auslegung einer solchen verschleissfesten Schutzschicht 5. Die ein- oder mehrlagige Schicht 5 wird so appliziert, dass sie zumindest teilweise mit anderen bestehenden Schutzschichten 4 überlappt. Bei den bereits bestehenden Schutzschichten 4 handelt es sich z.B. um aus dem Stand der Technik bekannte MCrAlY-Schichten ($M = \text{Ni, Co}$, oder eine Kombination beider Elemente), die bei den meisten hochbelasteten Turbinenschaufeln die Oberflächen des Schaufelblattes gegen Oxidation und Korrosion schützen. Weiterhin kann auf dieser MCrAlY-Schicht zusätzlich auf dem Schaufelblatt eine keramische Dämmschicht (TBC, Thermal Barrier Coating) aufgebracht sein, deren Integrität durch die vorgeschlagene Methode nicht beeinträchtigt wird.

[0029] Die vorgeschlagene Ausführung einer oxidationsbeständigen Abrasivschicht auf der Schaufelspitze gewährleistet durch die Überlappung mit den bereits bestehenden Schutzschichten einen effizienten Schutz der gegenüber dem Heissgas exponierten Flächen der Schaufelspitze. Eine Applikation dieser Verschleisschutzschicht durch das LMF-Verfahren ermöglicht es zudem, diese Beschichtungsoperation als letzten Fertigungsschritt im Herstellungsprozess anzusetzen. Damit werden die folgenden technischen Probleme umgangen:

- Bei der MCrAlY-Beschichtung muss die Oberfläche durch Sandstrahlen und/oder Reinigung mit übertragbarem Lichtbogen vorgängig von Oxiden befreit werden, um eine optimale Anbindung zu gewährleisten. Eine mit herkömmlichen (z.B. galvanischen) Verfahren aufgetragene Abrasivschicht, müsste während der Vorbereitung zur MCrAlY-Beschichtung durch eine entsprechende Maskierung gegen Schädigung geschützt werden, was Zusatzaufwand und Zusatzkosten verursachen würde.
- MCrAlY-Beschichtungen werden meist durch Plasmasprays hergestellt. Im Anschluss an das Aufbringen der Beschichtung ist ein Diffusions-Wärmebehandlungsschritt bei Temperaturen im Bereich $>1050^\circ\text{C}$ erforderlich. Bei diesem Prozessschritt können durch die hohen Temperaturen die Eigen-

schaften von vorher aufgetragenen Abrasivbeschichtungen negativ beeinflusst werden.

[0030] O.g. Probleme werden umgangen, wenn wie hier beschrieben, die Abrasivschicht als letzter Schritt in der Prozesskette durch das Laserauftragsschweißen aufgebracht wird. Eine einfache und kosteneffiziente Umsetzung besteht darin, die in radialer Richtung aussen gelegenen MCrAlY- (ggf. auch TBC-) Schicht(en) durch Abfräsen oder Abschleifen bzw. durch chemische Prozesse um einen definierten Betrag komplett zu entfernen. Auf das nun exponierte Grundmaterial wird anschließend die Verschleisschutzschicht durch LMF aufgebracht. Entscheidend ist dabei die lokal sehr begrenzte Einwirkung des Laserstrahls, die bei kontrollierter Prozessführung die Einwirkungen auf die benachbarten Bereiche der Schaufel sehr gering hält. Es wird damit möglich, eine solche verschleissfeste Schicht in unmittelbarer Nähe zu einer TBC-Schutzschicht aufzubringen, ohne diese zu beschädigen (siehe z.B. Fig. 4b).

[0031] Im Gegensatz zu konventionellen (z.B. galvanischen) Beschichtungsmethoden, müssen die nicht zu beschichtenden Flächen der Turbinenschaufel 1 (z.B. der Schaufelfuss) nicht durch ein Maskierungsverfahren geschützt werden. Der LMF-Prozess ist ein Schweißverfahren und erzeugt ohne zusätzliche Diffusions-Wärmebehandlung eine stabile metallurgische Verbindung mit dem Grundkörper der Schaufel. Durch die geringe lokale Wärmeeinbringung wird die lokale Aufhärtung trotz des schnellen Erstarrungsprozesses klein gehalten. Damit kann die Komponente unmittelbar nach dem Applizieren der verschleissbeständigen Schutzschicht ohne weitere nachfolgende Schritte eingebaut werden.

[0032] Fig. 5 zeigt verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten. Bei der ersten Designvariante (Fig. 5a bis 5c) wird zunächst z.B. durch Plasmaspritzen die verschleissbeständige MCrAlY-Schutzschicht 4 auf dem Schaufelblatt 1 appliziert. Anschließend wird diese Schutzschicht 4 lokal an der Schaufelspitze z.B. durch Abfräsen oder Abschleifen entfernt (Fig. 5b). Als letzte Operation wird die verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht 5 durch die LMF-Methode aufgebracht. Die zuletzt aufgetragene Schutzschicht 5 überlappt dabei zumindest teilweise mit der vorher applizierten oxidationsbeständigen MCrAlY-Schutzschicht 4 (Fig. 5c). Dadurch wird der gesamte Schaufelkörper gegen Oxidation bei hohen Einsatztemperaturen geschützt.

[0033] Wie oben bereits beschrieben, ist es möglich, in einem weiteren vorangehenden Herstellungsschritt die Schaufelspitze mit einer zusätzlichen Wärmedämmschicht 4a zu versehen. In der in Fig. 5f gezeigten Designvariante ist die verschleissbeständige Schutzschicht 5 erst nach der TBC-Beschichtung 4a (Fig. 5d) und dem Abschleifen der MCrAlY-Schicht 4 und TBC-Schicht 4a (Fig. 5e) an der Schaufelspitze durch Laser Metal Forming aufgebracht. Dabei wird durch geeignete Führung des Beschichtungskopfes (z.B. durch einen Roboter oder eine CNC) sichergestellt, dass während des LMF-

Verfahrens keine Wechselwirkung des Laserstrahls mit der keramischen Beschichtung erfolgt. Gleich wie in der ersten Variante überlappt die verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht 5 jedoch mit der vorher applizierten MCrAlY-Schutzschicht 4, um optimalen Schutz des Schaufelblattes 1 gegen Oxidation zu gewährleisten. Durch die lokal begrenzte und minimierte Wärmeeinbringung kann die LMF-Methode in unmittelbarer Nähe zu der keramischen Wärmedämmschicht 4a ausgeführt werden, ohne dass es zum Abplatzen des TBC kommt.

[0034] Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist in Fig. 6 dargestellt: Diese Variante kann z.B. dann zur Anwendung kommen, wenn die Krone 3 der Turbinenschaufel 1 so breit ist, dass die verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht 5 nicht mit einer einzelnen Schweissspur aufgebracht werden kann. In solchen Fällen kann zunächst mindestens eine mehrspurige, überlappende Zwischenschicht 8 aus oxidationsbeständigem Bindermaterial 7 appliziert werden. Anschließend wird mindestens eine weitere Spur unter kombinierter Zufuhr von Bindermaterial 7 und Abrasivmaterial 6 auf die zuerst deponierte(n) Schicht(en) aufgebracht. Es ist dabei nicht nötig, dass die Abrasivteilchen 6 auf der ganzen Breite der Schaufelspitze 9 verteilt werden. Somit erlaubt die in Fig. 6 gezeigte Variante eine kostenoptimierte Fertigung der oxidations- und verschleissbeständigen Schaufelspitze.

[0035] Fig. 7 zeigt beispielhaft eine Beschichtungsvorrichtung 14 zur Ausführung des letzten Schrittes des erfindungsgemässen Verfahrens. Die Vorrichtung 14 ist in EP 1 476 272 B1 im Detail beschrieben, der Inhalt dieses Dokuments ist Bestandteil der vorliegenden Anmeldung. Beim Laserauftragsschweißen der Schaufelspitze 9 werden Abrasivmaterial 6 und oxidationsbeständiges Bindermaterial 7 in einer Pulverdüse gemischt, mittels eines Trärgases 15 transportiert und anschließend konzentrisch um den Laserstrahl 10 als fokussierter Pulverstrahl in das vom Laserstrahl 10 erzeugte Schmelzbad 16 an der Schaufelspitze 9 eingedüst. Zusätzlich wird während des Laserauftragsschweißens online die Temperatur oder Temperaturverteilung im Schmelzbad erfasst (optisches Temperatursignal 17) und diese Information wird mit Hilfe eines nicht in Fig. 7 dargestellten Regelsystems verwendet, um die Laserleistung während des Laserauftragschweißens zu kontrollieren und/ oder die Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl 10 und der Turbinenschaufel 1 kontrolliert zu verändern.

[0036] Die Erfindung kann auf vielfältige Weise für deckbandlose Turbinenschaufeln, aber auch für Komponenten mit Deckband eingesetzt werden. Zu beachten ist die von den jeweiligen Betriebsbedingungen (Temperatur, Brennstoff) abhängige Lebensdauer der Abrasivbeschichtung. Durch eine gute Verteilung und komplette Einbettung der Abrasivteilchen in die oxidationsbeständige Bindermatrix wird eine Lebensdaueroptimierung erreicht. Dennoch ist das Hauptziel der Erfindung, die Turbinenschaufelspitze vor allem während der Einlaufphase zu schützen. Dies entspricht einer Dauer von mehreren Dutzend bis mehreren Hundert Betriebsstunden.

[0037] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt.

Bezugszeichenliste

[0038]

- | | | |
|-------|--|----|
| 1 | Turbinenschaufel | |
| 2 | Schaufelblatt | |
| 3 | Krone | 10 |
| 4, 4a | erste oxidationsbeständige Schutzschicht (4 metallische Schicht, 4a keramische Wärmedämmschicht) | |
| 5 | zweite verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht | 15 |
| 6 | Abrasivmaterial | |
| 7 | Bindermaterial | |
| 8 | Zwischenschicht aus oxidationsbeständigem Bindermaterial | |
| 9 | Schaufelspitze | 20 |
| 10 | Laserstrahl | |
| 11 | Deckband | |
| 12 | Steg | |
| 13 | Rotor | |
| 14 | Beschichtungsvorrichtung | 25 |
| 15 | Trärgas | |
| 16 | Schmelzbad | |
| 17 | optisches Temperatursignal | |

r radiale Richtung

L Länge der Turbinenschaufel

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel (1) für den Rotor (13) einer Turbine, mit einem eine Schaufelspitze (9) aufweisenden, sich in radialer Richtung (r) erstreckenden Schaufelblatt (2), welches an der Schaufelspitze (9) entweder als Krone (3) mit einer sich in radialer Richtung (r) erstreckender inneren und äusseren Kronenkante ausgebildet ist oder als Deckband (11) mit einem sich in radialer Richtung erstreckendem Steg (12) mit seitlichen Kanten, wobei das Schaufelblatt (2) auf seiner Oberfläche zumindest in bestimmten Zonen mit mindestens einer ersten Schutzschicht (4, 4a) aus oxidationsbeständigem Material versehen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die mindestens eine erste oxidationsbeständige Schutzschicht (4) eine metallische Schicht, und zwar eine MCrAlY-Schicht ist,
- diese erste Schutzschicht (4) zumindest an der inneren und/oder äusseren Kronenkante oder an den Stegkanten angeordnet ist,
- diese erste Schutzschicht (4) an der radial aussen gelegenen Schaufelspitze (9) der Turbinenschaufel (1) nicht vorhanden ist und

- die radial aussen gelegene Schaufelspitze (9) aus einer mittels bekanntem Laserauftragschweissen aufgebauten zweiten mindestens einlagigen verschleiss- und oxidationsbeständigen Schutzschicht (5) besteht, wobei diese zweite Schutzschicht (5) auf der Schaufelspitze (9) entlang der äusseren und/oder inneren Kronenkante bzw. der Stegkanten zumindest teilweise mit der dort angeordneten ersten metallischen Schutzschicht (4) überlappt.

2. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine metallische Schutzschicht (4) von einer keramischen Wärmedämmschicht (4a) bedeckt ist und wobei die durch Laserauftragsschweissen aufgebrachte zweite oxidations- und verschleissbeständige Schutzschicht (5) nur mit der metallischen Schutzschicht (4), nicht aber mit der keramischen Wärmedämmschicht (4a), zumindest teilweise überlappt.

3. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht (5) aus einem Abrasivmaterial (6) und einem oxidationsbeständigen metallischen Bindermaterial (7) besteht.

4. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Abrasivmaterial (6) kubisches Bornitrid (cBN) ist.

5. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das oxidationsbeständige Bindermaterial (7) folgende chemische Zusammensetzung (Angaben in Gew.-%) aufweist: 15-30 Cr, 5-10 Al, 0.3-1.2 Y, 0.1-1.2 Si, 0-2 andere, Rest Ni, Co.

6. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anteil an Abrasivmaterial (6) in der Schutzschicht (5), sofern diese mehrlagig ausgebildet ist, in radialer Richtung (r) nach aussen zunimmt.

7. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der ersten metallischen Schutzschicht (4) und der zweiten verschleiss- und oxidationsbeständigen Schutzschicht (5) zusätzlich eine Zwischenschicht (8), welche ausschliesslich aus oxidationsbeständigem Bindermaterial (7) besteht, angeordnet ist, wobei die Zwischenschicht (8) die erste Schutzschicht (4) zumindest teilweise überlappt und wobei die zweite Schutzschicht (5) die Zwischenschicht (8) wiederum zumindest teilweise überlappt.

8. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbinenschaufel (1) eine rekonditionierte Turbinen-

schaufel ist.

9. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbinenschaufel in einem vorangegangenen Serviceintervall der Turbine ohne abrasive Schaufelspitze (9) eingesetzt worden ist. 5
10. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbinenschaufel (1) eine Neukomponente ist. 10
11. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 mit einer Länge (L), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Länge (L) mittels der durch Laserauftragsschweissen aufgebauten Schichten (5) variierbar ist. 15
12. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei in einem vorausgegangenen Herstellungsschritt das Schaufelblatt (2) der Turbinenschaufel (1) auf seiner Oberfläche zumindest in bestimmten Zonen mit der oxidationsbeständigen metallischen Schutzschicht (4), und zwar MCrAlY-Schicht, beschichtet und wahlweise auf diese Schutzschicht (4) eine oxidationsbeständige keramische Wärmedämmschicht (4a) aufgebracht wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - die mindestens eine oxidationsbeständige Schutzschicht (4, 4a) an der radial aussen gelegenen Schaufelspitze (9) durch kontrollierte mechanische Bearbeitung und/oder chemisches Entschichten, entfernt wird, und anschliessend 30
 - die verschleiss- und oxidationsbeständige Schutzschicht (5) mittels bekanntem Laserauftragsschweissen in einer Lage oder in mehreren Lagen auf die Schaufelspitze (9) derart aufgebracht wird, dass sie entlang der äusseren und/oder inneren Kronenkante oder der Stegkanten zumindest teilweise mit der vorher aufgetragenen ersten metallischen Schutzschicht (4), aber nicht mit der wahlweise vorher aufgetragenen keramischen Wärmedämmschicht (4a) überlappt. 35 40 45
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kontrollierte mechanische Bearbeitung durch Abschleifen oder CNC-Fräsen erfolgt. 50
14. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Schritt des Laserauftragsschweissens der Schaufelspitze (9) Abrasivmaterial (6) und oxidationsbeständiges Bindermaterial (7) in einer Pulverdüse gemischt und anschliessend konzentrisch um den Laserstrahl (10) als fokussierter Pulverstrahl in das vom Laserstrahl (10) erzeugte 55

Schmelzbad an der Schaufelspitze (9) eingedüst werden.

15. Verfahren nach Anspruch 12 oder 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich während des Laserauftragsschweissens online die Temperatur oder Temperaturverteilung im Schmelzbad erfasst wird und dass diese Information mit Hilfe eines Regelsystems verwendet wird, um die Laserleistung während des Laserauftragsschweissens zu kontrollieren und/oder die Relativbewegung zwischen dem Laserstrahl (10) und der Turbinenschaufel (1) kontrolliert zu verändern.

Claims

1. Turbine blade (1) for the rotor (13) of a turbine, having a main blade section (2), which has a blade tip (9), extends in the radial direction (r) and is formed at the blade tip (9) either as a crown (3) with an inner and outer crown edge extending in the radial direction (r) or as a shroud (11) with a web (12), which extends in the radial direction and has lateral edges, wherein at least certain zones on the surface of the main blade section (2) are provided with at least one first protective coating (4, 4a) consisting of oxidation-resistant material, **characterized in that**
 - the at least one first, oxidation-resistant protective coating (4) is a metallic coating, namely an MCrAlY coating,
 - said first protective coating (4) is arranged at least at the inner and/or outer crown edge or at the web edges,
 - said first protective coating (4) is not present at the radially outer blade tip (9) of the turbine blade (1), and
 - the radially outer blade tip (9) consists of a second, at least single-layer wear-resistant and oxidation-resistant protective coating (5) which is built up by known laser metal forming, wherein said second protective coating (5) on the blade tip (9) overlaps along the outer and/or inner crown edge or the web edges at least partially with the first, metallic protective coating (4) arranged there.
2. Turbine blade (1) according to Claim 1, **characterized in that** the at least one metallic protective coating (4) is covered by a ceramic thermal barrier coating (4a), and wherein the second, oxidation-resistant and wear-resistant protective coating (5) which is applied by laser metal forming overlaps at least partially only with the metallic protective coating (4), but not with the ceramic thermal barrier coating (4a).
3. Turbine blade (1) according to Claim 1 or 2, **char-**

acterized in that the wear-resistant and oxidation-resistant protective coating (5) consists of an abrasive material (6) and an oxidation-resistant metallic binder material (7).

4. Turbine blade (1) according to Claim 3, **characterized in that** the abrasive material (6) is cubic boron nitride (cBN).

5. Turbine blade (1) according to Claim 3, **characterized in that** the oxidation-resistant binder material (7) has the following chemical composition (amounts in % by weight): 15-30 Cr, 5-10 Al, 0.3-1.2 Y, 0.1-1.2 Si, 0-2 others, remainder Ni, Co.

6. Turbine blade (1) according to Claim 3, **characterized in that** the proportion of abrasive material (6) in the protective coating (5), if said coating has a multi-layer form, increases outward in the radial direction (r).

7. Turbine blade (1) according to Claim 1 or 2, **characterized in that** an intermediate coating (8), which consists exclusively of oxidation-resistant binder material (7), is additionally arranged between the first, metallic protective coating (4) and the second, wear-resistant and oxidation-resistant protective coating (5), wherein the intermediate coating (8) at least partially overlaps the first protective coating (4) and wherein the second protective coating (5) in turn at least partially overlaps the intermediate coating (8).

8. Turbine blade (1) according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the turbine blade (1) is a re-conditioned turbine blade.

9. Turbine blade (1) according to Claim 8, **characterized in that** the turbine blade was used in a preceding service interval of the turbine without an abrasive blade tip (9).

10. Turbine blade (1) according to one of Claims 1 to 9, **characterized in that** the turbine blade (1) is a new component.

11. Turbine blade (1) according to one of Claims 1 to 10 having a length (L), **characterized in that** the length (L) can be varied by the coatings (5) built up by laser metal forming.

12. Method for producing a turbine blade (1) according to one of Claims 1 to 11, wherein, in a preceding production step, at least certain zones on the surface of the main blade section (2) of the turbine blade (1) are coated with the oxidation-resistant, metallic protective coating (4), namely the MCrAlY coating, and an oxidation-resistant, ceramic thermal barrier coat-

ing (4a) is optionally applied to said protective coating (4), **characterized in that**

- the at least one oxidation-resistant protective coating (4, 4a) on the radially outer blade tip (9) is removed by controlled machining and/or chemical coating removal, and then
- the wear-resistant and oxidation-resistant protective coating (5) is applied to the blade tip (9) in one layer or in a plurality of layers by known laser metal forming, such that said coating overlaps along the outer and/or inner crown edge or the web edges at least partially with the first, metallic protective coating (4) applied beforehand, but not with the ceramic thermal barrier coating (4a) optionally applied beforehand.

13. Method according to Claim 12, **characterized in that** the controlled machining is carried out by grinding away or CNC milling.

14. Method according to Claim 12, **characterized in that**, during the laser metal forming step of the blade tip (9), abrasive material (6) and oxidation-resistant binder material (7) are mixed in a powder nozzle and then injected concentrically about the laser beam (10) as a focused jet of powder into the melt pool produced by the laser beam (10) on the blade tip (9).

15. Method according to Claim 12 or 14, **characterized in that** the temperature or temperature distribution in the melt pool is additionally recorded online during the laser metal forming, and **in that** this information is used, with the aid of a control system, to control the laser power during the laser metal forming and/or to change the relative movement between the laser beam (10) and the turbine blade (1) in a controlled manner.

Revendications

1. Aube de turbine (1) pour le rotor (13) d'une turbine, avec une pale (2) s'étendant en direction radiale (r) et présentant une pointe d'aube (9), et qui est configurée à la pointe d'aube (9) soit sous forme de couronne (3) avec un bord de couronne intérieur et extérieur s'étendant en direction radiale (r) soit comme anneau de renforcement (11) avec une nervure (12) s'étendant en direction radiale avec des bords latéraux, dans laquelle la pale (2) est munie sur sa surface au moins dans des zones déterminées d'au moins une première couche de protection (4, 4a) en matériau résistant à l'oxydation, **caractérisée en ce que**

- ladite au moins une première couche de protection résistant à l'oxydation (4) est une couche

- métallique, notamment une couche de MCrAlY, - cette première couche de protection (4) est disposée au moins sur le bord de couronne intérieur et/ou extérieur ou sur les bords de nervure, - cette première couche de protection (4) n'est pas présente sur la pointe d'aube (9) de l'aube de turbine (1) située radialement à l'extérieur, et - la pointe d'aube (9) située radialement à l'extérieur se compose d'une deuxième couche de protection (5) en au moins une couche résistant à l'usure et à l'oxydation déposée au moyen d'un procédé connu de soudage par rechargement au laser, dans laquelle cette deuxième couche de protection (5) sur la pointe d'aube (9) est en recouvrement au moins partiel le long du bord de couronne extérieur et/ou intérieur ou des bords de nervure avec la première couche de protection métallique (4) disposée à ces endroits.
2. Aube de turbine (1) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** ladite au moins une couche de protection métallique (4) est recouverte d'une couche céramique d'isolation thermique (4a) et dans laquelle la deuxième couche de protection résistant à l'usure et à l'oxydation (5) déposée par soudage par rechargement au laser est en recouvrement au moins partiel uniquement avec la couche de protection métallique (4) mais pas avec la couche céramique d'isolation thermique (4a) .
 3. Aube de turbine (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** la couche de protection résistant à l'usure et à l'oxydation (5) se compose d'un matériau abrasif (6) et d'un matériau liant métallique résistant à l'oxydation (7).
 4. Aube de turbine (1) selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** le matériau abrasif (6) est le nitrure de bore cubique (cBN).
 5. Aube de turbine (1) selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** le matériau liant résistant à l'oxydation (7) présente la composition chimique suivante (en % en poids): 15-30 Cr, 5-10 Al, 0,3-1,2 Y, 0,1-1,2 Si, 0-2 autres, reste Ni, Co.
 6. Aube de turbine (1) selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** la proportion du matériau abrasif (6) dans la couche de protection (5), dans la mesure où celle-ci est en plusieurs couches, augmente en direction radiale (r) vers l'extérieur.
 7. Aube de turbine (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce qu'une** couche intermédiaire (8), qui se compose exclusivement de matériau liant résistant à l'oxydation (7), est disposée entre la première couche de protection métallique (4) et la deuxième couche de protection résistant à l'usure et à l'oxydation (5), dans laquelle la couche intermédiaire (8) recouvre au moins partiellement la première couche de protection (4) et dans laquelle la deuxième couche de protection (5) recouvre de nouveau au moins partiellement la couche intermédiaire (8).
 8. Aube de turbine (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce que** l'aube de turbine (1) est une aube de turbine reconconditionnée.
 9. Aube de turbine (1) selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** l'aube de turbine a été utilisée au cours d'un intervalle de fonctionnement précédent de la turbine sans pointe d'aube abrasive (9).
 10. Aube de turbine (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisée en ce que** l'aube de turbine (1) est un composant neuf.
 11. Aube de turbine (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 avec une longueur (L), **caractérisée en ce que** la longueur (L) peut être modifiée au moyen des couches (5) déposées par soudage par rechargement au laser.
 12. Procédé de fabrication d'une aube de turbine (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel, au cours d'une étape de fabrication précédente, on revêt la pale (2) de l'aube de turbine (1) sur sa surface au moins dans des zones déterminées avec la couche de protection métallique résistant à l'usure et à l'oxydation (4), notamment une couche de MCrAlY, et on dépose en option sur cette couche de protection (4) une couche céramique d'isolation thermique résistant à l'oxydation (4a), **caractérisé en ce que**
 - on enlève ladite au moins une couche de protection résistant à l'oxydation (4, 4a) sur la pointe d'aube (9) située radialement à l'extérieur par usinage mécanique contrôlé et/ou par dégarnissage chimique, et ensuite
 - on dépose la couche de protection résistant à l'usure et à l'oxydation (5) au moyen d'un procédé connu de soudage par rechargement au laser en une seule couche ou en plusieurs couches sur la pointe d'aube (9), de telle manière que, le long du bord de couronne extérieur et/ou intérieur ou des bords de nervure, elle soit en recouvrement au moins partiel avec ladite première couche de protection métallique (4) déposée antérieurement mais pas avec la couche céramique d'isolation thermique (4a) déposée en option antérieurement.

13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'on effectue l'usinage mécanique contrôlé par meulage ou par fraisage CNC.
14. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que**, lors de l'étape de soudage par rechargement au laser de la pointe d'aube (9), on mélange un matériau abrasif (6) et un matériau liant résistant à l'oxydation (7) dans une buse de pulvérisation et on les projette ensuite de façon concentrique autour du faisceau laser (10) sous forme de jet de poudre dans le bain fondu produit par le faisceau laser (10) sur la pointe d'aube (9). 5 10
15. Procédé selon la revendication 12 ou 14, **caractérisé en ce que** l'on détermine en outre en ligne pendant le soudage par rechargement au laser la température ou la répartition de la température dans le bain fondu et **en ce que** l'on utilise cette information à l'aide d'un système de régulation, pour contrôler la puissance du laser pendant le soudage par rechargement au laser et/ou pour faire varier de façon contrôlée le mouvement relatif entre le faisceau laser (10) et l'aube de turbine (1). 15 20 25 30 35 40 45 50 55

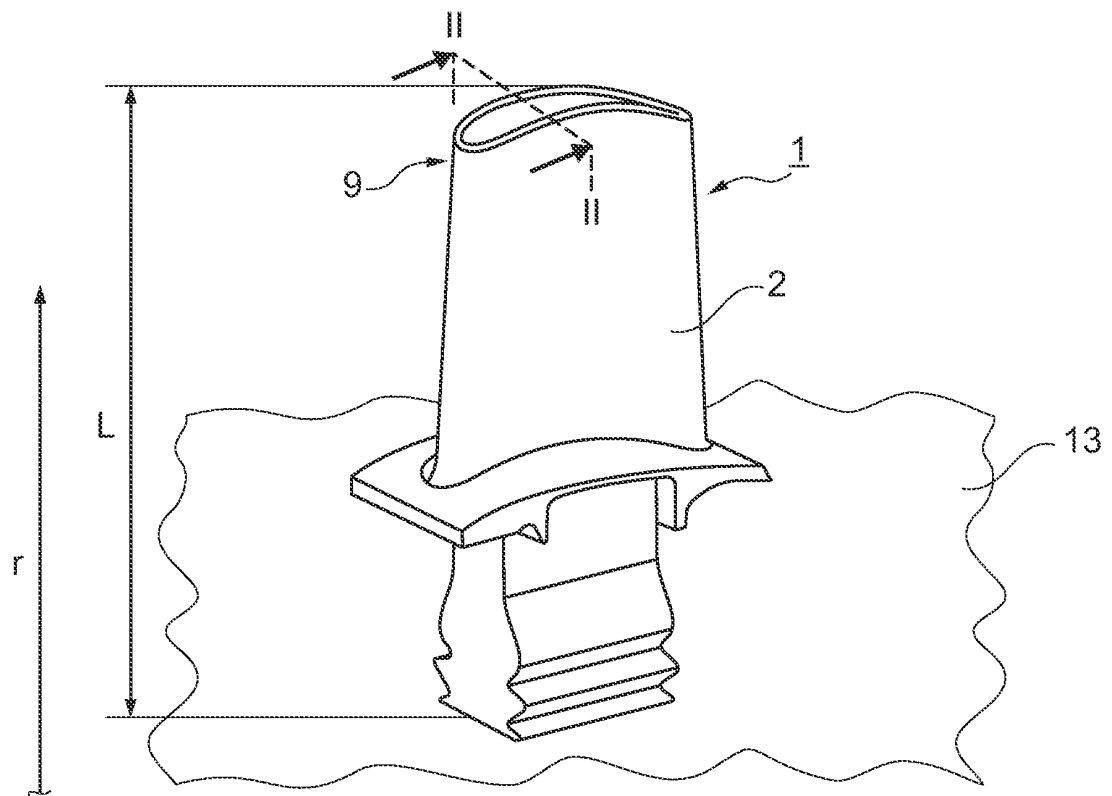


Fig. 1

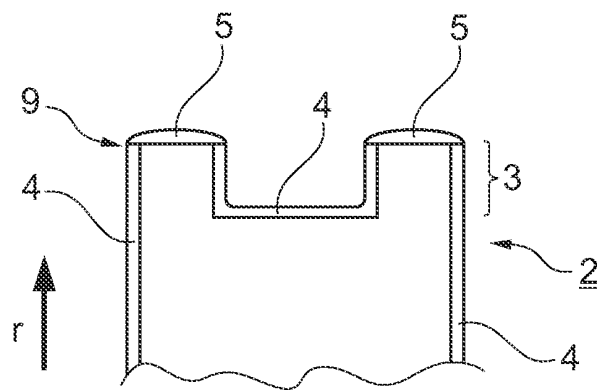


Fig. 2

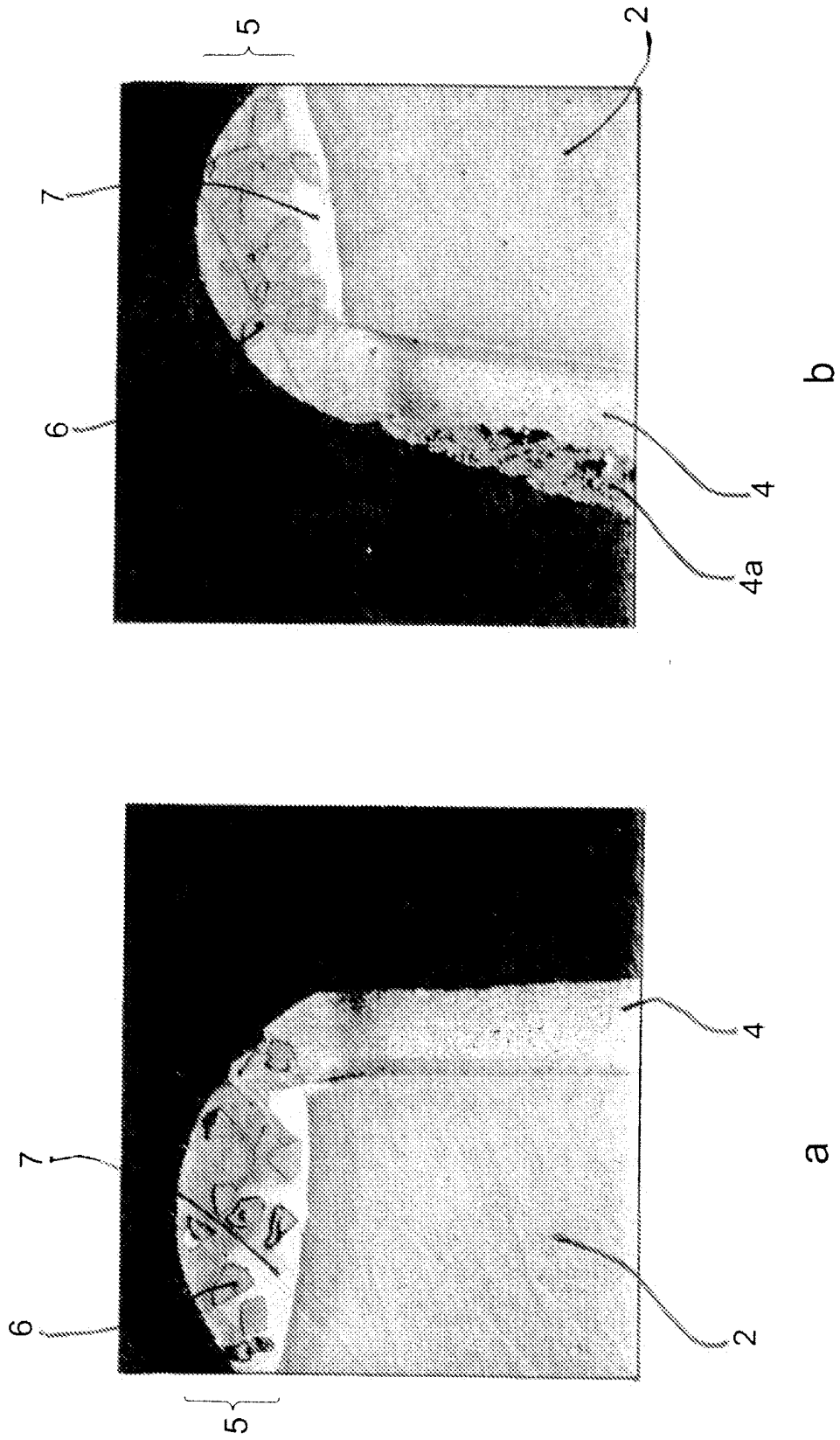


Fig. 3

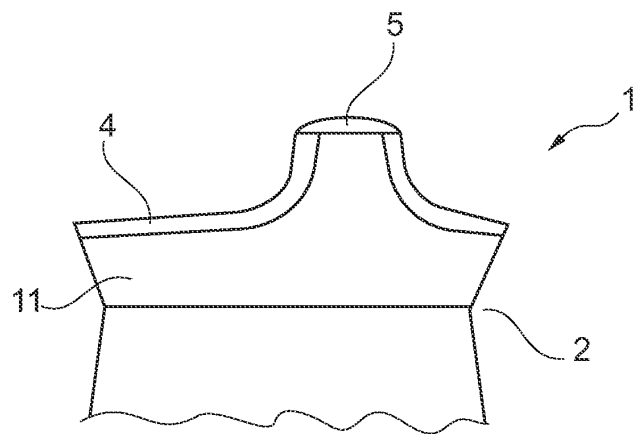


Fig. 4

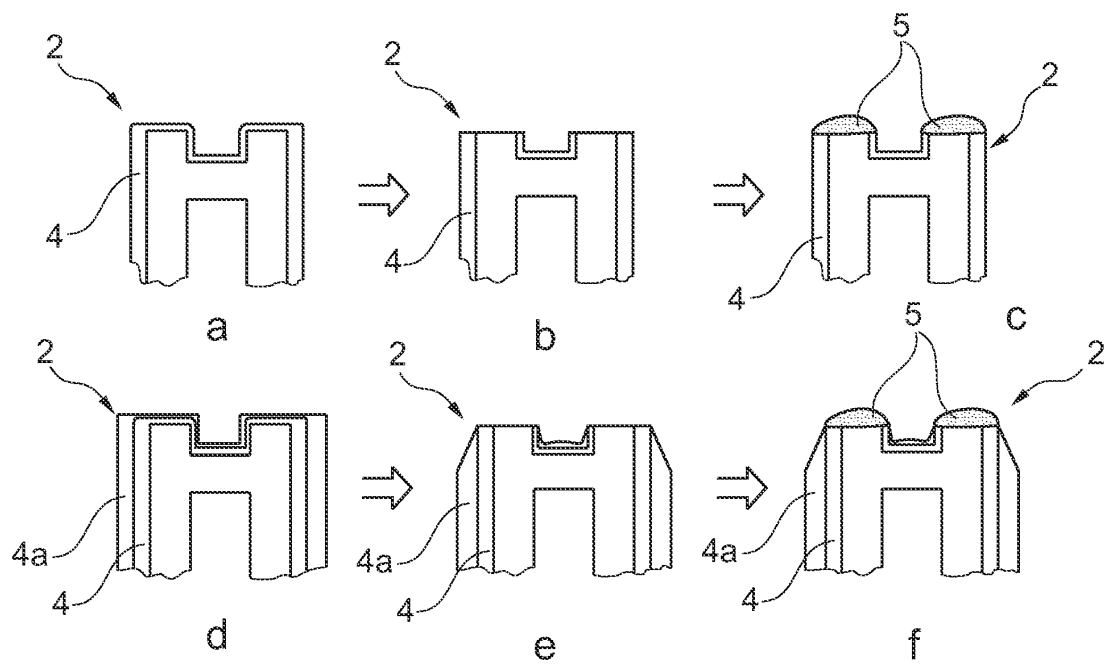


Fig. 5

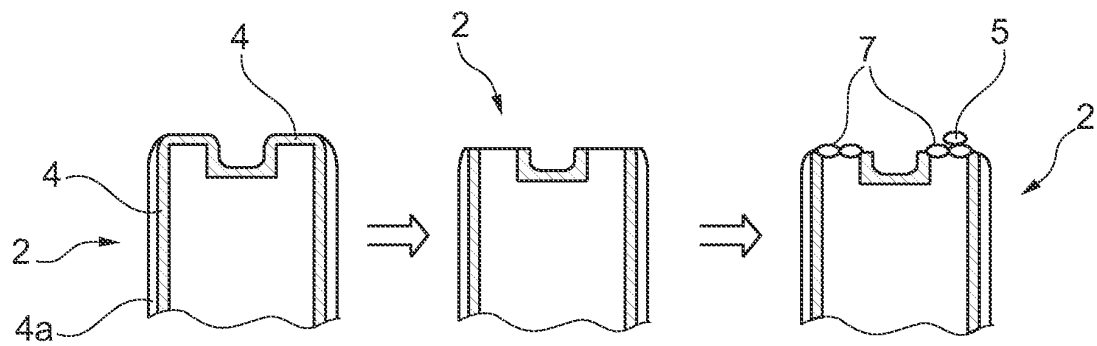


Fig. 6

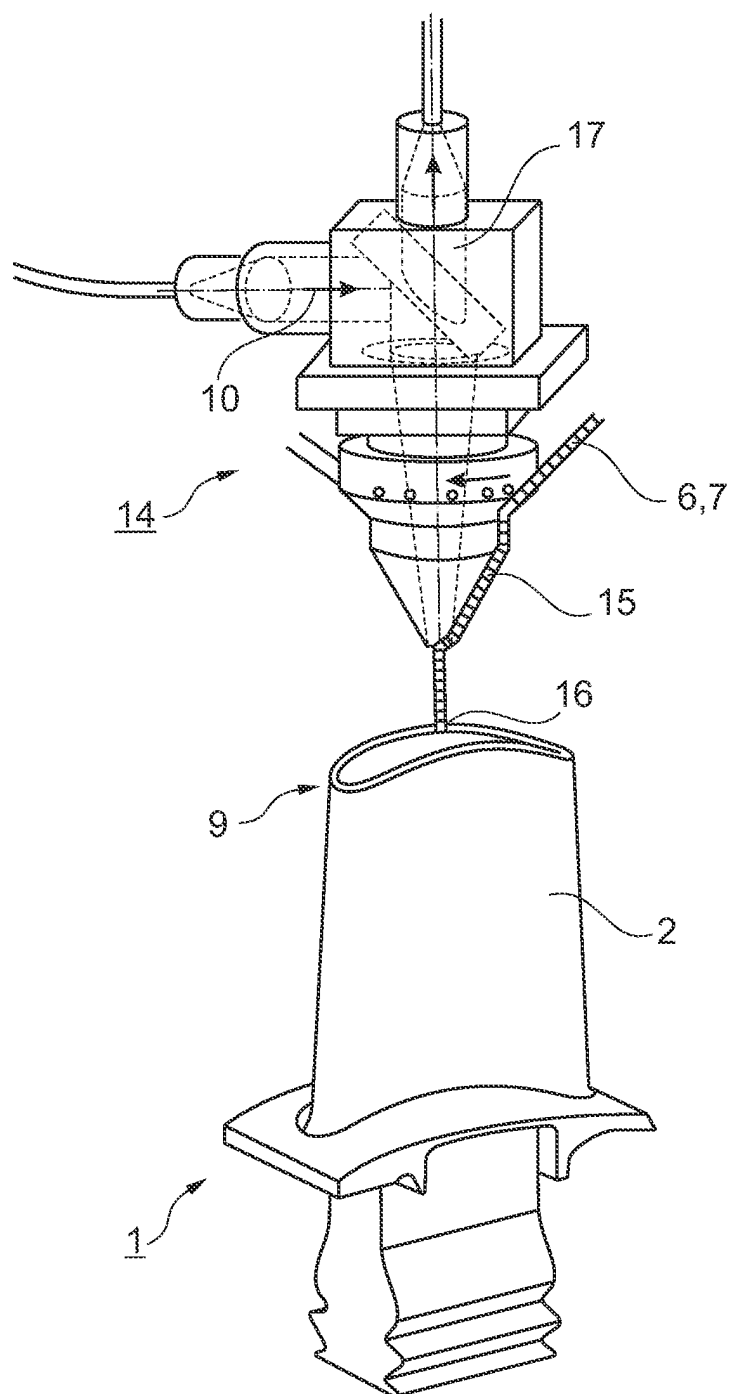


Fig. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 6194086 B1 [0005]
- DE 102004059904 A1 [0005]
- GB 2075129 A [0006]
- WO 2009083000 A1 [0006]
- EP 1476272 B1 [0035]