



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.05.2011 Patentblatt 2011/18

(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**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Hoebel, Matthias**
5210, Windisch (CH)
• **Ambrosy, Günter**
5404, Baden-Dättwil (CH)
• **Reinert, Felix**
5430, Wettingen (CH)
• **Barril, Stephane**
5413, Birmenstorf (CH)

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

(71) Anmelder: **Alstom Technology Ltd**
5400 Baden (CH)

(54) **Verschleiss- und oxidationsbeständige Turbinenschaufel**

(57) Die Erfindung betrifft eine verschleiss- und oxidationsbeständige Turbinenschaufel (1) sowie ein Verfahren zur Herstellung dieser Schaufel. Das Schaufelblatt (2) ist auf seiner Oberfläche zumindest in bestimmten Zonen mit mindestens einer ersten Schutzschicht (4, 4a) aus oxidationsbeständigem Material versehen, wobei diese erste oxidationsbeständige Schutzschicht eine metallische Schicht (4), insbesondere eine MCrAlY-Schicht ist, die wahlweise von einer keramischen Wärmedämmschicht (5) bedeckt sein kann. Die metallische erste Schutzschicht (4) ist zumindest an der inneren und

äusseren Kronenkante der Schaufelspitze (9) angeordnet, aber nicht an der radial aussen gelegenen Schaufelspitze (9). Die radial aussen gelegene Schaufelspitze (9) der Turbinenschaufel (1) besteht aus einer mittels eines bekannten Laserauftragsschweissens aufgebauten zweiten ein- oder mehrlagigen verschleiss- und oxidationsbeständigen Schutzschicht (5) aus Abrasivmaterial (6) und Bindermaterial (7), 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.

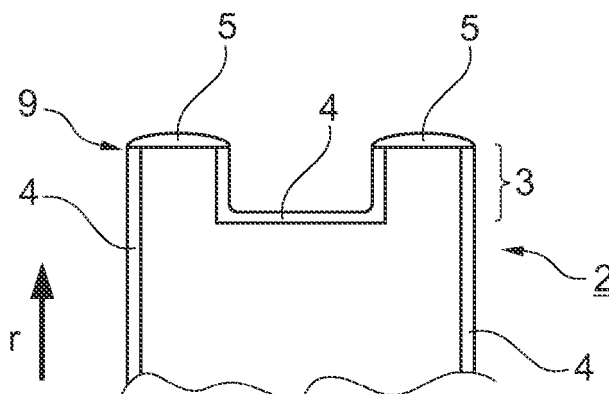


Fig. 2

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 Abrasiv-

[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 Laserauftragschweissens (Englisch: Laser Metal Forming, abgekürzt

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.

Darstellung der Erfindung

[0006] 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.

[0007] 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.

[0008] 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.

[0009] Das erfindungsgemässe Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel gemäss Oberbegriff des Patentanspruches 12 ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- die mindestens eine oxidationsbeständige Schutzschicht 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.

[0010] 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.

[0011] Die erfindungsgemässe Schaufel kann durch ein kostengünstiges und einfach umsetzbares Verfahren hergestellt werden.

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0015] 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.

[0016] 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.

[0017] Von Vorteil ist ausserdem, wenn der Anteil an Abrasivmaterial in der verschleiss- und oxidationsbeständigen mehrlagigen Schutzschicht in radialer Rich-

tung nach aussen zunimmt, weil das eine optimale Anpassung an die Beanspruchungsbedingungen gewährleistet.

[0018] 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.

[0019] 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.

[0020] 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

[0021] 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 photographische 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

[0022] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der Fig. 1 bis 6 näher erläutert.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] Besonders gut ist das an den Fig. 3a und 3b zu sehen, die Fotos von erfindungsgemäss beschichteten Schaufelspitzen zeigen. In der verschleissund 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 Ausgangsleistung 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 Wärmedämm-

schicht (TBC) 4a.

[0026] 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.

[0027] 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= 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.

[0028] 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 Eigenschaften von vorher aufgetragenen Abrasivbeschichtungen negativ beeinflusst werden.

[0029] 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).

[0030] 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.

[0031] 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 aufgebrachte 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.

[0032] 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 oxidati-

onsbeständige 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.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] 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.

[0036] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt.

Bezugszeichenliste

[0037]

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

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, insbesondere 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 Laserauftragsschweissen 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 aufgebraute 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 Turbinenschaufel ist.
9. Turbinenschaufel (1) nach Anspruch 8, **dadurch ge-**

kennzeichnet, dass die Turbinenschaufel in einem vorangegangenen Serviceintervall der Turbine ohne abrasive Schaufelspitze (9) eingesetzt worden ist.

10. Turbinenschaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Turbinenschaufel (1) eine Neukomponente ist. 5

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. 10

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), insbesondere MCrAlY-Schicht, beschichtet und wahlweise auf diese Schutzschicht (4) eine oxidationsbeständige keramische Wärmedämmschicht (4a) aufgebracht wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** 15
 - die mindestens eine oxidationsbeständige Schutzschicht (4, 4a) an der radial aussen gelegenen Schaufelspitze (9) durch kontrollierte mechanische Bearbeitung, insbesondere Abschleifen, CNC Fräsen, und/oder chemisches Entschichten, entfernt wird, und anschliessend 20
 - 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. 25

13. 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 Schmelzbad an der Schaufelspitze (9) eingeblasen werden. 30
 - 35
 - 40

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich während des Laserauftragsschweissens online die Temperatur oder Temperaturverteilung im Schmelzbad erfasst wird 45
 - 50
 - 55

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.

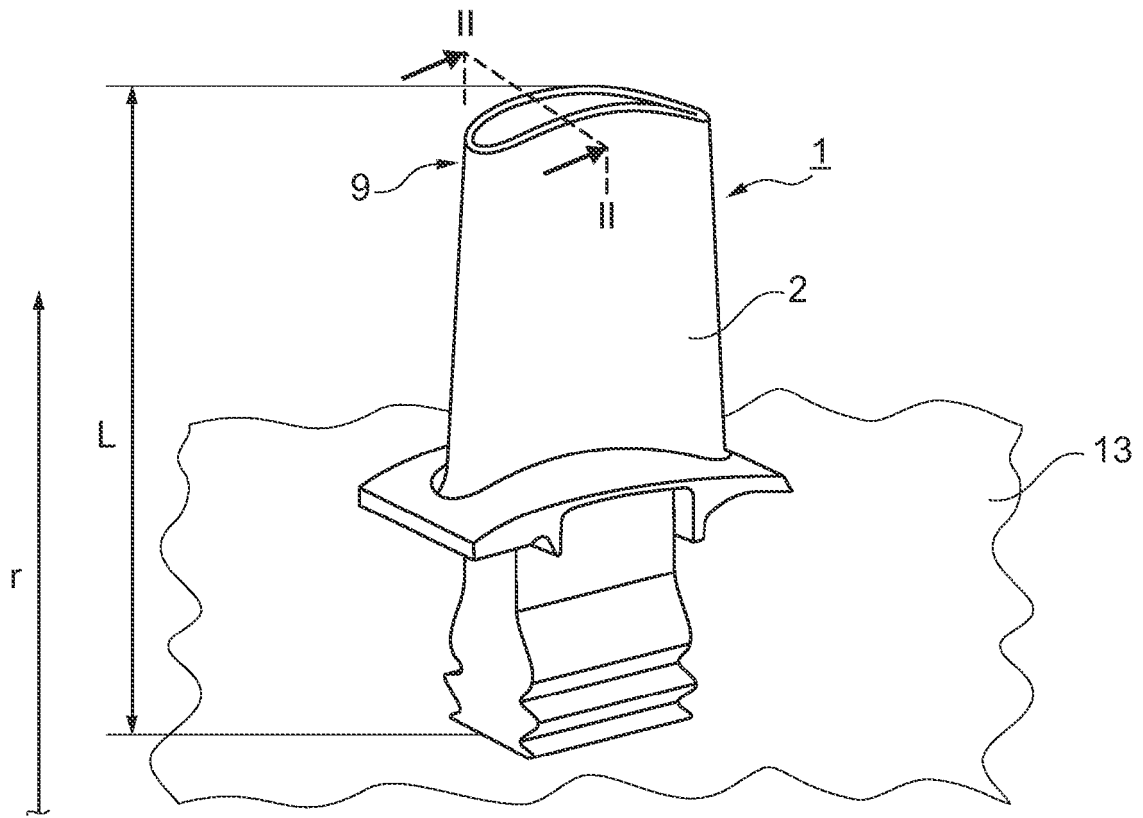


Fig. 1

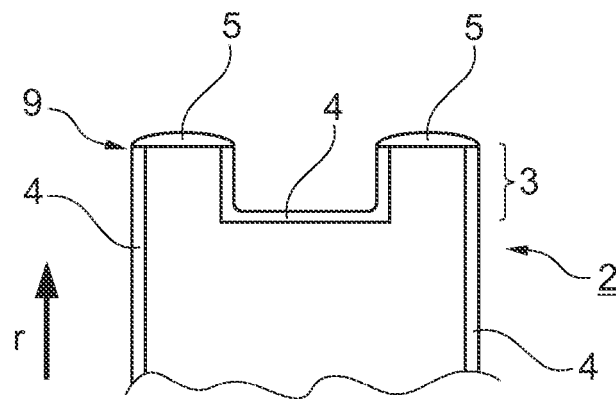


Fig. 2

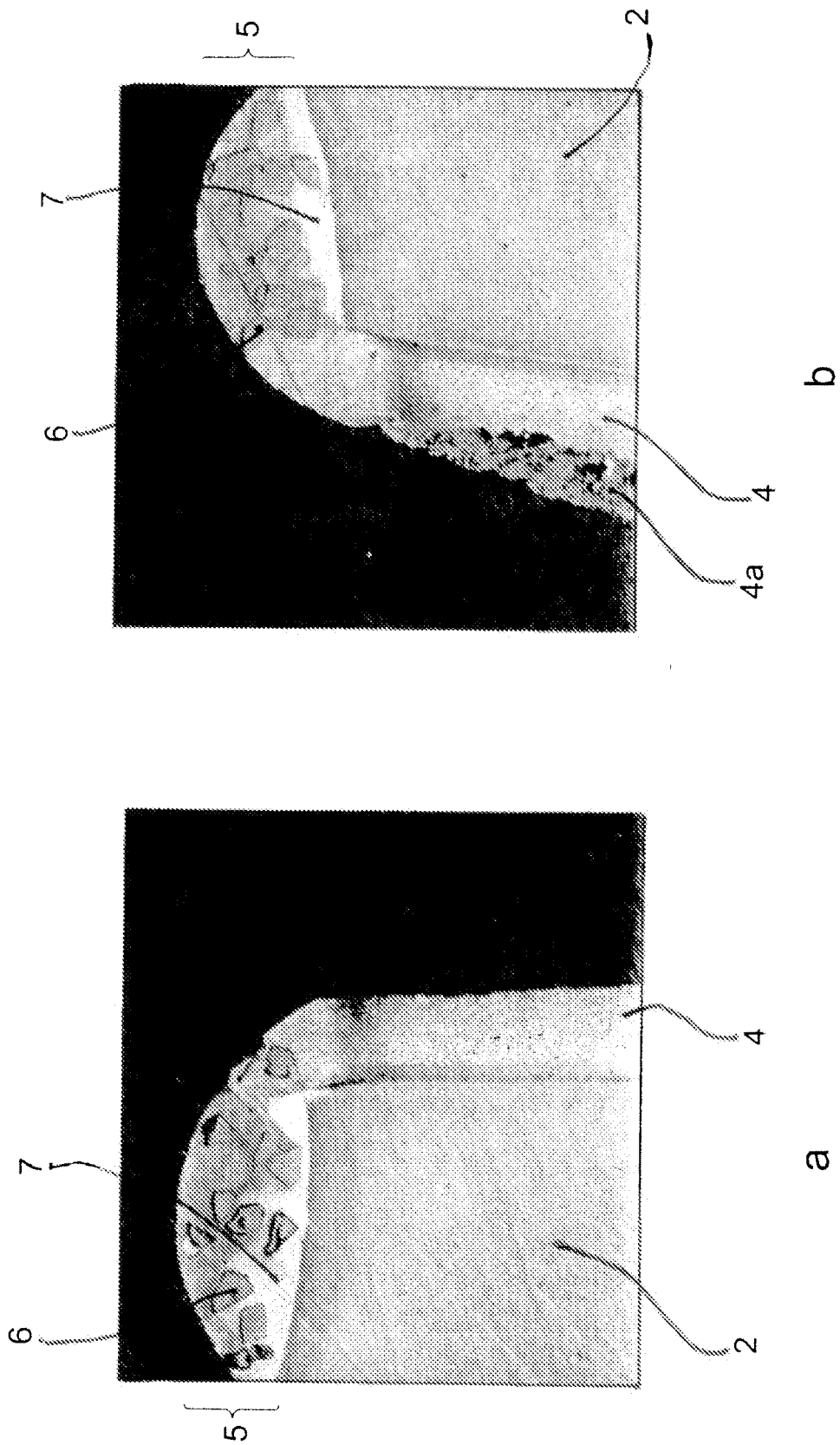


Fig. 3

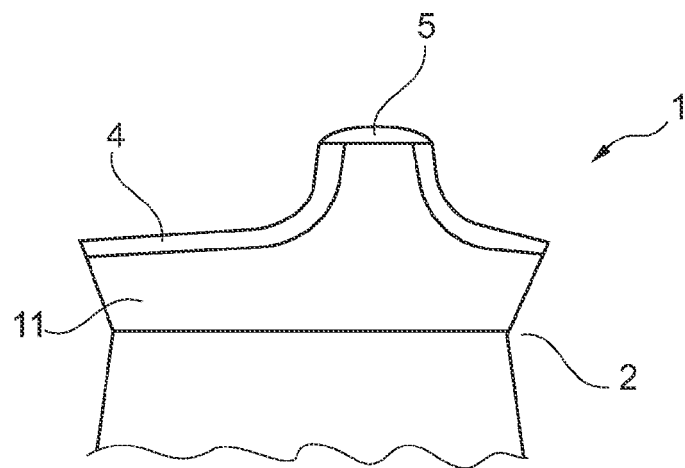


Fig. 4

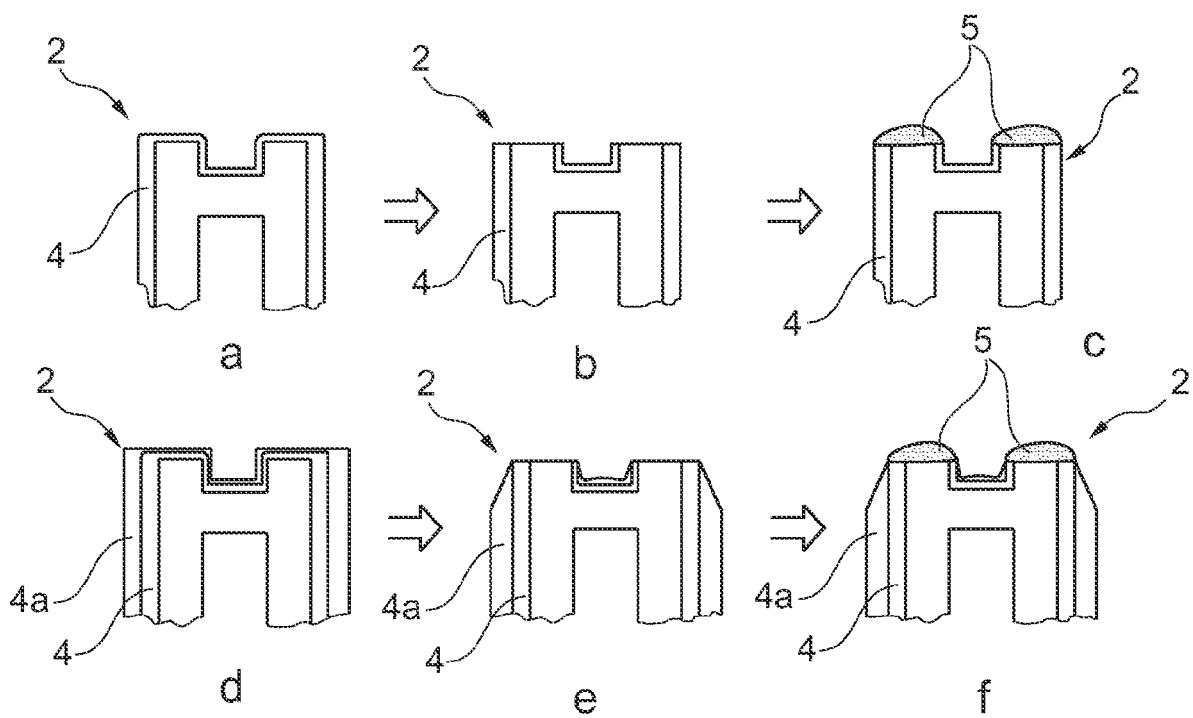


Fig. 5

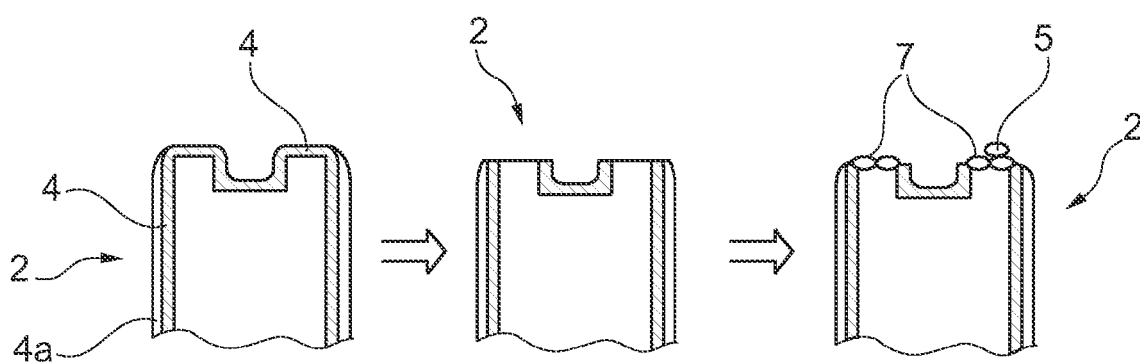


Fig. 6

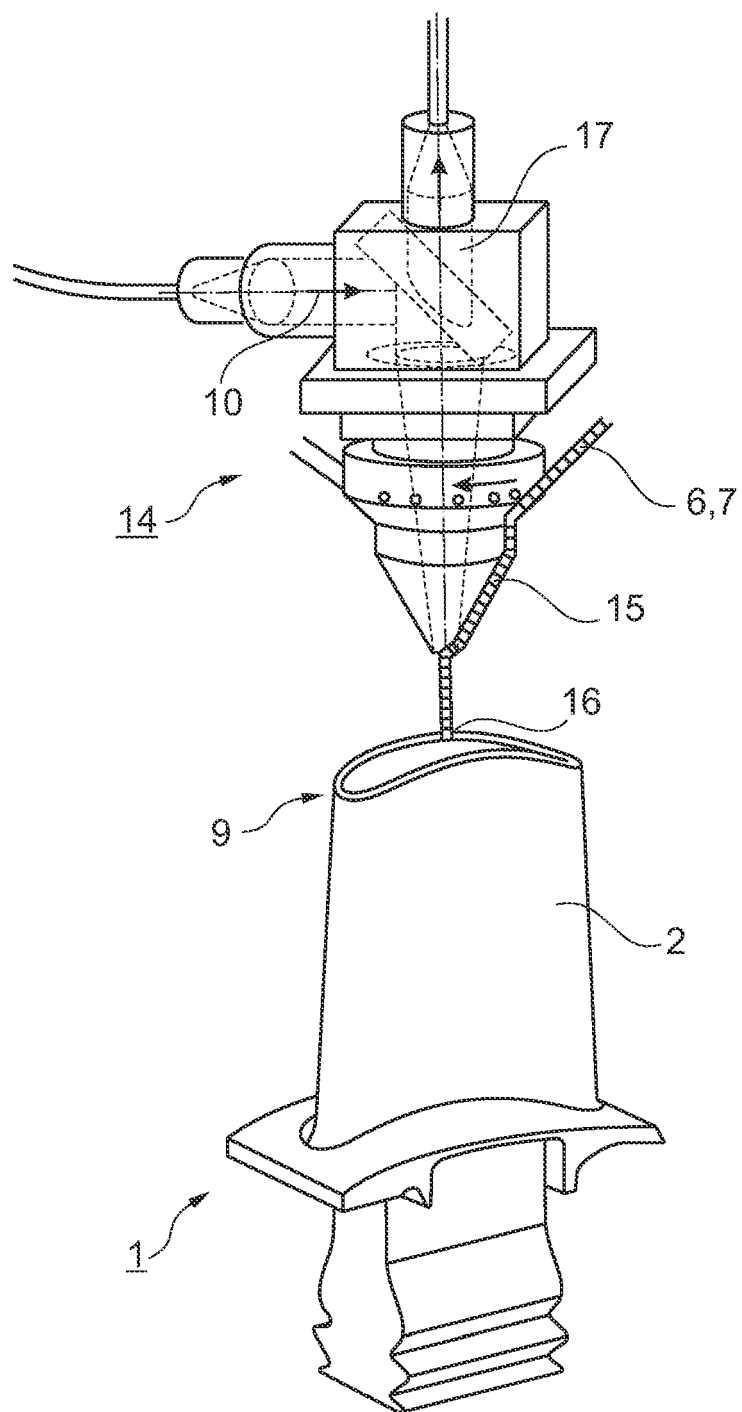


Fig. 7



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 10 18 8806

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 10 2004 059904 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 14. Juni 2006 (2006-06-14) * Seite 2, Absatz 7 - Seite 3, Absatz 19 * * Seite 4, Absatz 27 - Absatz 29 * * Ansprüche 1-20 *	1-12	INV. C23C24/10 C23C28/00 C23C28/02 F01D5/28 F01D11/12 F01D5/20
Y	GB 2 075 129 A (GEN ELECTRIC) 11. November 1981 (1981-11-11)	1	
A	* Seite 1, Zeile 69 - Seite 2, Zeile 8 * * Seite 3, Zeile 8 - Seite 4, Zeile 88; Abbildungen 1-5 *	2-14	
A	GB 2 010 982 A (GEN ELECTRIC) 4. Juli 1979 (1979-07-04) * Seite 1, Zeile 1 - Seite 2, Zeile 89; Ansprüche 1-17 *	1-14	
A	EP 1 245 787 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 2. Oktober 2002 (2002-10-02) * Seite 3, Absatz 12 - Absatz 16 * * Seite 4, Absatz 24 - Absatz 27 * * Seite 5, Absatz 32 - Seite 6, Absatz 38 *	1-14	
Y	WO 2009/083000 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]; MANIER KARL-HEINZ [DE]) 9. Juli 2009 (2009-07-09)	1	
A	* Seite 1, Absatz 1 - Seite 4, Absatz 3 * * Ansprüche 1,5-12 *	2-14	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag		25. Februar 2011	Ovejero, Elena
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 10 18 8806

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-02-2011

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102004059904 A1	14-06-2006	KEINE	
GB 2075129 A	11-11-1981	DE 3102575 A1	28-01-1982
		FR 2481740 A1	06-11-1981
		IT 1135181 B	20-08-1986
		JP 1006321 B	02-02-1989
		JP 1523885 C	12-10-1989
		JP 56162207 A	14-12-1981
		JP 1007201 B	08-02-1989
		JP 1523980 C	12-10-1989
		JP 63259107 A	26-10-1988
		US 4390320 A	28-06-1983
GB 2010982 A	04-07-1979	DE 2853959 A1	28-06-1979
		FR 2412699 A1	20-07-1979
		IT 1102346 B	07-10-1985
		JP 1363323 C	09-02-1987
		JP 54102413 A	11-08-1979
		JP 61031282 B	19-07-1986
		US 4169020 A	25-09-1979
EP 1245787 A2	02-10-2002	DE 60216177 T2	13-09-2007
		US 2002141869 A1	03-10-2002
WO 2009083000 A1	09-07-2009	CA 2711053 A1	09-07-2009
		DE 102008003100 A1	16-07-2009
		EP 2229464 A1	22-09-2010
		US 2010322780 A1	23-12-2010

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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]
- EP 1476272 B1 [0034]