

(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  
28. Oktober 2010 (28.10.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2010/121597 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*F01D 5/14* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2010/000449

(22) Internationales Anmeldedatum:  
21. April 2010 (21.04.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2009 018 685.9  
23. April 2009 (23.04.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MTU AERO ENGINES GMBH [DE/DE]; Dachauer Strasse 665, 80995 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): JAKIMOV, Andreas [DE/DE]; Lauinger Str. 49, 80997 München (DE). SCHNEIDERBANGER, Stefan [DE/DE]; Eichenstr. 12, 85232 Bergkirchen (DE). HERTTER, Manuel [DE/DE]; Aubinger Strasse 93A, 81247 München (DE).

(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, 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, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A PLATING OF A VANE TIP AND CORRESPONDINGLY PRODUCED VANES AND GAS TURBINES

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER PANZERUNG EINER SCHAUFELSPITZE SOWIE ENTSPRECHEND HERGESTELLTE SCHAUFELN UND GASTURBINEN

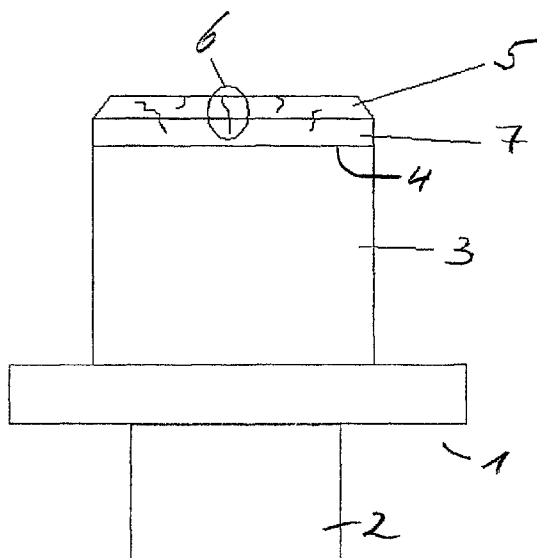


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a plating (5) of a vane tip. Said method consists of the following steps: a) a vane having a vane tip which is arranged opposite the base of the vane (2) and which comprises a surface which points radially outwards is provided, and b) a porous layer (7) is applied to at least the surface (4) of the vane tip and/or c) a bulge (8) which increases the surface of the vane tip is applied to at least one part of the flanks of the vane tip, said flanks surrounding the surface of the vane tip, and d) the plating (5) is applied to the porous layer and/or the bulge. The invention also relates to corresponding vanes or gas turbines with corresponding vanes.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Panzerung (5) einer Schaufelspitze, welches umfasst: a) Bereitstellen einer Schaufel mit einer Schaufelspitze,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/121597 A2

---

die gegenüberliegend einem Schaufelfuß (2) angeordnet ist und eine radial nach außen weisende Oberfläche umfasst, und b) Aufbringen einer porösen Schicht (7) auf zumindest der Oberfläche (4) der Schaufelspitze und/oder c) Anbringen einer die Oberfläche der Schaufelspitze vergrößern Wulst (8) an zumindest einem Teil der die Oberfläche der Schaufelspitze umgebenden Flanken der Schaufelspitze, und d) Aufbringen der Panzerung (5) auf der porösen Schicht und/oder der Wulst sowie entsprechende Schaufeln oder Gasturbinen mit derartigen Schaufeln.

## **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER PANZERUNG EINER SCHAUFELSPITZE SOWIE ENTSPRECHEND HERGESTELLTE SCHAUFELN UND GASTURBINEN**

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

### GEBIET DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Panzerung einer Schaufelspitze sowie entsprechend hergestellte Schaufeln und Gasturbinen.

### STAND DER TECHNIK

Das Vorsehen von Panzerungen auf Schaufelspitzen von Schaufeln einer Gasturbine und insbesondere einer Flugturbine ist aus dem Stand der Technik bekannt. Insbesondere ist es auch bekannt, derartige Panzerungen durch kinetisches Kaltgasspritzen aufzubringen, wie beispielsweise die US 2007/0248750 A1 oder die US 2008/0038 zeigen. Die EP 1 674 594 A1 zeigt weiterhin ein Verfahren zur Reparatur von Schaufeln mit einem entsprechenden Kaltgasspritzverfahren.

Wie jedoch die Figuren 1 und 3 zeigen, können hierbei unterschiedliche Probleme auftreten. Einerseits kann die harte Panzerung 5 Versprödungsrisse 6 aufweisen, die in den Grundwerkstoff des Schaufelblattes 3 einwandern können und so zu einer Beschädigung des Schaufelblattes 3 führen können. Zum Anderen kann es durch die Aufbringung der Panzerung 5 zu einer Abweichung von der geplanten Geometrie kommen, wenn bei der Aufbringung der Panzerung ein spezifischer Schichtaufbau vorliegt, wie beispielsweise der in Figur 3 dargestellte pyramidenförmige Schichtaufbau.

**BESTÄTIGUNGSKOPIE**

## OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

### AUFGABE DER ERFINDUNG

Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die oben beschriebenen Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden und insbesondere ein Verfahren zur Herstellung einer Panzerung einer Schaufelspitze bereitzustellen, bei dem das Problem des Einwanderns von Versprödungsrissen in den Grundwerkstoff ausgehend von der Panzerung als auch Formabweichungen durch die Abscheidung der Panzerung von der vorgegebenen Form der Schaufelspitze vermieden werden sollen. Gleichwohl soll das Verfahren einfach durchführbar sein und zuverlässige Ergebnisse liefern, d. h. die Schaufeln sollen das erforderliche Eigenschaftsprofil beibehalten. Entsprechend sollen auch derartige Schaufeln und Gasturbinen bereitgestellt werden.

### TECHNISCHE LÖSUNG

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, Schaufeln mit den Merkmalen der Ansprüche 9 und 10 sowie einer Gasturbine mit den Merkmalen des Anspruchs 15. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Erfindungsgemäß wird bei dem Verfahren zur Herstellung einer Panzerung einer Schaufelspitze unterhalb der Panzerung eine poröse Schicht und/oder zumindest teilweise eine die Abscheidefläche für die Panzerung vergrößernde Wulst vorgesehen. Durch die poröse Schicht, die unterhalb der Panzerung angeordnet wird, kann vermieden werden, dass Risse sich ausgehend von der Panzerung bis in den Grundwerkstoff des Schaufelblattes erstrecken. Durch die weitere Maßnahme, die alternativ oder in Kombination mit der Anordnung der porösen Schicht unterhalb der Panzerung vorgenommen werden kann, eine um die Beschichtungsfläche der Schaufelspitze umlaufende Wulst zur Vergrößerung der Beschichtungsfläche vorzusehen, kann erreicht werden, dass auch bei einer Schicht, die in einer bestimmten Form, beispielsweise pyramidenförmig aufwächst, die gewünschte Form der Schaufelspitze eingestellt werden kann. Zu diesem Zweck kann nämlich die Wulst mit der auf dieser abgeschiede-

nen überschüssigen Panzerung nach dem Beschichten, d. h. dem Aufbringen der Panzerung, wieder entfernt werden und zwar entsprechend der Form, die die Schaufelspitze einnehmen soll.

Ein derartiges Vorgehen ist insbesondere für Schaufeln mit relativ „weichem“ Grundmaterial vorteilhaft, bei welchen eine Panzerung notwendig ist. Entsprechend kann die Erfindung insbesondere bei Schaufeln eingesetzt werden, die aus einer Titanbasislegierung, einer Nickelbasislegierung, einer Aluminiumbasislegierung oder einer Magnesiumbasislegierung gebildet sind oder derartige Legierungen zumindest im Bereich der Schaufelspitze aufweisen. Für derartige Schaufeln können Panzerungen an der Schaufelspitze aus einer Nickelbasislegierung oder einer Eisenbasislegierung vorgesehen sein. Die Panzerung kann insbesondere Nitride, Karbide und/oder Oxide als Hartstoffpartikel oder abrasive Partikel umfassen. Insbesondere kann die Panzerung aus einer MCrAlY-Legierung gebildet sein, bei der M für Nickel, Kobalt oder Eisen steht.

Unter Schaufel wird im Rahmen der vorliegenden Beschreibung und der Ansprüche jede Schaufel einer Gasturbine verstanden, unabhängig davon wo sie sich in der Gasturbine befindet. Insbesondere wird der Begriff Schaufel sowohl für Schaufeln im Verdichterbereich einer Gasturbine (Verdichterschaufel) als auch im eigentlichen Turbinenbereich (Turbinenschaufel) verwendet.

Unter Basislegierung wird im Rahmen dieser Anmeldung verstanden, dass die entsprechende Legierung das im Namen der Basislegierung genannte Metall als Hauptbestandteil, also als Bestandteil mit dem größten Anteil in der Zusammensetzung, oder als überwiegenden Anteil enthält, d. h. mit einem Anteil von mehr als der Hälfte der Zusammensetzung. Unter Basislegierung wird jedoch im vorliegenden Fall nicht nur eine Legierung mit vielen Bestandteilen, insbesondere Bestandteilen zur Bildung von härtenden Teilchen verstanden, sondern es können auch einfache Legierungen mit lediglich zwei oder drei Bestandteilen sein bis hin zu nahezu reinen Werkstoffen des namensgebenden Metalls, bei dem lediglich geringfügige Legierungselemente und/oder unvermeidbare Verunreinigungen enthalten sind.

Die poröse Schicht und/oder die Wulst können durch beliebige geeignete Auftragsverfahren erzeugt werden, wobei insbesondere Spritzen und vorzugsweise thermisches Spritzen eingesetzt werden können.

Die poröse Schicht und/oder die Wulst können aus einem Material gebildet sein, welches in seinen Eigenschaften entweder dem Grundmaterial des Schaufelblattes und/oder dem Material der Panzerung angepasst ist. Entsprechend können die poröse Schicht und/oder die Wulst insbesondere aus einem Material gebildet sein, welches überwiegend die Elemente aufweist, aus denen auch das Grundmaterial und/oder die Panzerung gebildet sind. Damit kann die poröse Schicht und/oder die Wulst insbesondere eine Titanbasislegierung, eine Nickelbasislegierung, eine Aluminiumbasislegierung oder eine Eisenbasislegierung sein. Bzgl. der Basislegierungen gilt hier dieselbe Definition wie oben angegeben.

Die Aufbringung der Panzerung erfolgt vorzugsweise durch kinetisches Kaltgasspritzen oder auch kinetisches Kaltgaskompaktieren (K3 genannt). Bei diesem Verfahren werden Partikel des Beschichtungswerkstoffes mit hoher Geschwindigkeit auf die zu beschichtende Oberfläche beschleunigt, wobei die Temperaturen so gewählt sind, dass der Beschichtungswerkstoff nicht aufschmilzt, sondern lediglich eine gewisse Duktilität aufweist, die dazu führt, dass beim Auftreffen der Partikel diese verformen und ineinander fließen, so dass eine innige Verbindung der Partikel erzeugt wird, die auch eine gute Haftfestigkeit der Beschichtung auf dem zu beschichtenden Material zur Folge hat. Das kinetische Kaltgasspritzen kann bei einer Temperatur von 300 bis 900 °C, insbesondere 400 bis 750°C bzw. einem Druck von 20 bis 50 bar, insbesondere 30 bis 40 bar und/oder mit einer Partikelgeschwindigkeit von 500 bis 1200 m/s, insbesondere 700 bis 1000 m/s durchgeführt werden. Die Partikel können im Größenbereich von 5 µm bis 100 µm, insbesondere 10 µm bis 50 µm liegen.

Die Entfernung der Wulst und/oder zumindest teilweise der Panzerung kann durch jedes geeignete Verfahren erfolgen, insbesondere durch mechanische und/oder chemische Bearbeitung.

Insbesondere spanabhebende Verfahren wie Fräsen oder nasschemische Verfahren wie Ätzen können hierbei zum Einsatz kommen.

Nach der Bearbeitung der Schaufelspitze, also der Entfernung der Wulst und des überschüssigen Panzerungsmaterials, weist die Panzerung entsprechend mechanisch und/oder chemisch bearbeitete Seitenflächen auf, die in radialer Richtung, also in Richtung ausgehend vom Schaufelfuß zur Schaufelspitze, eine geradlinige Verlängerung der Schaufeloberfläche darstellen, so dass die Panzerung und eine evtl. darunter angeordnete poröse Schicht die gewünschte Kontur der Schaufelspitze einnehmen.

#### KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

Weitere Vorteile, Kennzeichen und Merkmale der vorliegenden Erfindung werden bei der nachfolgenden detaillierten Beschreibung der Ausführungsbeispiele deutlich. Die Figuren zeigen hierbei in rein schematischer Weise in

Figur 1 eine Seitenansicht einer bekannten Schaufel mit einer Panzerung;

Figur 2 eine Seitenansicht einer erfindungsgemäßen Schaufel;

Figur 3 eine Seitenansicht einer bekannten Schaufel;

Figur 4 eine Seitenansicht einer Schaufel gemäß der vorliegenden Erfindung im Fertigungsprozess; und in

Figur 5 eine Detailansicht der endbearbeiteten Schaufelspitze aus Figur 4.

## AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

Die Figur 1 zeigt eine bekannte Schaufel nach dem Stand der Technik, welche einen Schaufelfuß 2 und ein Schaufelblatt 3 umfasst. An der Schaufelspitze ist eine radial nach Außen weisende Oberfläche 4 vorgesehen, auf der eine Panzerung 5 angeordnet ist.

In der Panzerung 5 können Risse 6 auftreten, die in den Grundwerkstoff des Schaufelblattes 3 eindringen können. Dadurch kann es zu einer Beschädigung des Schaufelblattes 3 kommen.

Bei einer erfindungsgemäßen Ausführungsform, wie sie in Figur 2 gezeigt ist, weist die Schaufel 1 zwischen dem Grundmaterial des Schaufelblattes 3 unter der Panzerung 5 eine zusätzliche Schicht 7 auf, die als eine poröse Schicht ausgebildet ist. Durch die Poren in der porösen Schicht 7 kommt es beim Eindringen von Rissen 6 zu einem Stopp des Risswachstums, so dass verhindert wird, dass die Risse 6 sich in das Grundmaterial des Schaufelblattes 3 ausweiten können. Im Übrigen ist der Aufbau der Schaufel 1 identisch zu demjenigen, wie er in Figur 1 gezeigt ist, so dass die gleichen Bezugszeichen verwendet worden sind und sich eine zusätzliche Beschreibung der mit dem Bezugszeichen versehenen Komponenten erübrigt. Dies gilt auch für die nachfolgenden Darstellungen der Figuren 3 und 4.

In der Figur 3 ist wiederum eine Seitenansicht einer Schaufel 1 gezeigt, ähnlich der Darstellungen der Figuren 1 und 2. Die Schaufel 1, wie sie in Figur 3 dargestellt ist, zeigt ein weiteres Problem aus dem Stand der Technik. Die Panzerung 5, die auf der Oberfläche 4 der Schaufelspitze angeordnet ist, weist einen pyramidenförmigen Aufbau auf, so dass der Querschnitt der Panzerung an der radialen Außenseite kleiner ist, als der Querschnitt der Oberfläche 4 der Schaufelspitze. Dies wird deutlich, wenn die Seitenfläche des Schaufelblattes 3 in radialer Richtung geradlinig verlängert wird, wie dies mit der gestrichelten Linie 9 dargestellt ist. Hier zeigt sich, dass zwischen der geradlinigen, radialen Verlängerung der Seiten 13 des Schaufelblattes und der Panzerung 5 ein Freiraum 10 vorliegt, in dem keine Panzerung vorliegt, so dass die Geometrie der Schaufelspitze durch die Panzerung 5 verändert ist.

Um dies zu vermeiden ist gemäß der Ausführungsform der Figur 4 an den Flanken 12 der Schaufelspitze, also an den Seitenflächen 13 des Schaufelblattes 3 im Bereich der Schaufelspitze eine umlaufende Wulst 8 ausgebildet, die den radialen Oberflächenbereich der Schaufelspitze erweitert. Die Panzerung 5 wird hierbei auf der radial nach Außen weisenden Oberfläche 4 der Schaufelspitze sowie auf der entsprechenden Oberfläche der Wulst 8 abgeschieden, so dass sich trotz eines pyramidalen Schichtaufbaus eine Schaufelspitzengeometrie erzeugen lässt, die der gewünschten Form entspricht. Hierzu wird die Wulst 8 mit dem überstehenden Bereich der Panzerung 11 nachträglich nach dem Aufbringen der Panzerung entfernt, so dass sich eine Seitenfläche des Schaufelblattes 3 und der Panzerung 5 ergibt, die entsprechend der gestrichelten Linie 9 der geradlinigen, radialen Verlängerung der Seitenfläche 13 des Schaufelblattes 3 gegeben ist. Die Entfernung der Wulst 8 und des Bereichs 11 der Panzerung 5 kann durch jedes geeignete Verfahren, z. B. mechanische Abtragsverfahren wie spanende Verfahren, z. B. Drehen, Fräsen und dergleichen oder durch chemische Bearbeitung, wie nasschemisches Ätzen und dergleichen realisiert werden.

Die Ausführungsformen, wie sie in den Figuren 2 und 4 dargestellt sind, können miteinander kombiniert werden, so dass zusätzlich zwischen Panzerung 5 und dem Grundmaterial des Schaufelblattes 3 eine poröse Schicht 7 vorgesehen ist. Diese kann als Teil der Wulst 8 oder im Zusammenhang mit der Wulst 8 auf die Schaufelspitze aufgebracht werden. Dies ist durch die strichlinierte Linie im Bereich der Schaufelspitze der Figur 4 dargestellt. Die strichlinierte Oberfläche 4' der Schaufelspitze zeigt den Zustand, dass auf der Schaufelspitze unterhalb der Panzerung 5 noch eine poröse Schicht 7 angeordnet ist, während die durchgezogene Oberfläche 4 der Schaufelspitze den Zustand angibt, dass keine zusätzliche poröse Schicht 7 vorgesehen ist.

Für den Fall, dass eine poröse Schicht 7 vorgesehen ist, kann die poröse Schicht 7 vor Anbringen der Wulst 8 aufgebracht werden oder zusammen mit der Wulst auf der Schaufelspitze aufgebracht werden. Entsprechend können Wulst und poröse Schicht 7 unabhängig von einander unterschiedliche Materialien umfassen oder aus dem gleichen Material gebildet sein und in einem gemeinsamen Arbeitsgang erzeugt werden.

Die Figur 5 zeigt in einer Teilansicht die fertig bearbeitete Schaufelspitze der Schaufel 1 aus Figur 4. Hier ist zu sehen, dass die Seitenflächen 14 der Panzerung nach mechanischer

und/oder chemischer Bearbeitung in geradliniger Verlängerung in axialer Richtung zu den Seitenflächen 13 des Schaufelblatts 3 angeordnet sind und diese Seitenflächen 13, 14 in einander fluchtend übergehen. Die Kontur der Schaufelspitze, in der gezeigten Darstellung in einer Rechteckform, ist durch die Panzerung 5 erhalten geblieben. Insbesondere bei einer Reparatur von Schaufeln mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. der Anordnung der entsprechenden Schichten kann dadurch eine Wiederherstellung der gewünschten Form der Schaufelspitzen gewährleistet werden.

Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird die poröse Schicht 7 bzw. die Wulst 8 durch Spritzen, insbesondere thermisches Spritzen, aufgebracht, wobei auch andere geeignete Aufbringungsverfahren Verwendung finden können. Die Panzerung wird durch kinetisches Kaltgaskompaktieren bzw. kinetisches Kaltgasspritzen aufgebracht, welches besonders günstige Eigenschaften für die Panzerung erzeugt. Das kinetische Kaltgaskompaktieren bzw. kinetische Kaltgasspritzen wird bei Temperaturen im Bereich von 300 bis 800 °C und einem Gasdruck von 30 bis 40 bar ausgeführt, so dass sich Partikelgeschwindigkeiten im Bereich von 500 bis 1000 m/s ergeben. Die Partikelgrößen bewegen sich dabei im Bereich von 5 bis 50 µm. Durch das Auftreffen der Partikel mit hohen Geschwindigkeiten bei relativ niedrigen Temperaturen kommt es zu einer plastischen Verformung des Materials und zu einer festen, kompakten Anordnung der Panzerung. Die Panzerung kann hierbei insbesondere durch einen Nickelbasiswerkstoff oder einen Eisenbasiswerkstoff gebildet werden, welcher Nitride, Carbide und Oxide als Hartstoffpartikel umfasst. Beispielsweise kann für die Panzerung ein Werkstoff mit der Zusammensetzung MCrAlY mit M = Nickel oder Eisen Verwendung finden.

Für die poröse Zwischenschicht können je nach Wahl des Grundwerkstoffs des Schaufelblattes 3 entsprechende Werkstoffe ausgewählt werden, die entweder ähnlich der Zusammensetzung der Panzerung oder der Zusammensetzung des Grundwerkstoffs sind. Bei Verwendung von Aluminiumbasis-, Magnesiumbasis-, oder Titanbasislegierungen für den Grundwerkstoff des Schaufelblattes 3 können insbesondere Nickel-, Eisen-, Titan-, Magnesium- oder Aluminiumlegierungen für die poröse Schicht eingesetzt werden. Insbesondere hat sich die Struktur der vorgestellten Schaufel bzw. das entsprechende Verfahren zur Herstellung bzw. zur Reparatur eines entsprechenden Schaufelblattes für Schaufeln aus Titanbasislegierungen und einer

Nickelpanzerung bewährt, wobei als poröse Zwischenschicht oder als Wulst eine Titan- oder Nickelbasislegierung eingesetzt wird.

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand der beigefügten Ausführungsbeispiele detailliert beschrieben worden ist, ist für den Fachmann selbstverständlich, dass die Erfindung nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern dass vielmehr Abwandlungen, z. B. durch Weglassen einzelner Merkmale oder andersartige Kombination einzelner Merkmale, möglich sind, ohne den Schutzbereich der beigefügten Ansprüche zu verlassen. Insbesondere umfasst die vorliegende Erfindung sämtliche Kombinationen aller vorgestellten Merkmale.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Panzerung einer Schaufelspitze, welches umfasst:
  - a) Bereitstellen einer Schaufel (1) mit einer Schaufelspitze, die gegenüberliegend einem Schaufelfuß (2) angeordnet ist und eine radial nach außen weisende Oberfläche umfasst, und
  - b) Aufbringen einer porösen Schicht (7) auf zumindest der Oberfläche (4) der Schaufelspitze und/oder
  - c) Anbringen einer die Oberfläche der Schaufelspitze vergrößernden Wulst (8) an zumindest einem Teil der die Oberfläche der Schaufelspitze umgebenden Flanken der Schaufelspitze, und
  - d) Aufbringen der Panzerung (5) auf der porösen Schicht und/oder der Wulst.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Schaufel aus einer Titanbasislegierung, Nickelbasislegierung, Aluminiumbasislegierung oder Magnesiumbasislegierung gebildet ist oder zumindest eine davon an der Schaufelspitze angeordnet ist und/oder die Panzerung (5) durch eine Nickelbasis- oder Eisenbasislegierung gebildet ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die poröse Schicht (7) und/oder die Wulst (8) aufgespritzt werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die poröse Schicht (7) und/oder die Wulst (8) aus einer Titanbasislegierung, einer Nickelbasislegierung, Aluminiumbasislegierung, Magnesiumbasislegierung oder Eisenbasislegierung gebildet werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Aufbringung der Panzerung (5) durch kinetisches Kaltgasspritzen oder -kompaktieren (K3) erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das kinetische Kaltgasspritzen oder – kompaktieren bei einer Temperatur von 300 bis 900°C und/oder einem Druck von 20 bis 50 bar und/oder einer Partikelgeschwindigkeit von 500 bis 1200 m/s durchgeführt wird und/oder die Partikelgröße des Panzermaterials für das kinetische Kaltgasspritzen oder – kompaktieren im Bereich von 5 µm bis 100 µm liegt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Verfahren zur Reparatur von Schaufeln eingesetzt wird und/oder vor dem Aufbringen der porösen Schicht und/oder der Wulst schadhafte Stellen entfernt werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Wulst (8) und/oder zumindest teilweise die Panzerung (11) auf der Wulst nach Aufbringung der Panzerung durch mechanische und/oder chemische Bearbeitung entfernt werden.
9. Schaufel für eine Gasturbine, insbesondere Flugturbine, mit einer Schaufelspitze, die gegenüberliegend dem Schaufelfuß (2) angeordnet ist und zumindest auf der radial nach außen weisenden Oberfläche (4) eine Panzerung (5) umfasst,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
zwischen dem Schaufelgrundmaterial und der Panzerung eine poröse Schicht angeordnet ist.
10. Schaufel für eine Gasturbine, insbesondere Flugturbine, mit einer Schaufelspitze, die gegenüberliegend dem Schaufelfuß (2) angeordnet ist und zumindest auf der radial nach außen weisenden Oberfläche (4) eine Panzerung (5) umfasst,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Panzerung mit ihren Seitenflächen in radialer Richtung die geradlinige Verlängerung des Schaufelblattes darstellt und/oder mechanisch oder chemisch bearbeitete Seitenflächen umfasst.
11. Schaufel nach Anspruch 9 oder 10,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Schaufelgrundmaterial eine Titanbasislegierung, Nickelbasislegierung, Aluminiumba-

sislegierung oder Magnesiumbasislegierung ist und/oder die Panzerung durch eine Nickelbasis- oder Eisenbasislegierung gebildet ist und/oder die poröse Schicht aus einer Titanbasislegierung, einer Nickelbasislegierung, Aluminiumbasislegierung, Magnesiumbasislegierung oder Eisenbasislegierung gebildet ist.

12. Schaufel nach einem der Ansprüche 9 bis 11,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Grundmaterial des Schaufelblattes (3) eine Titanlegierung ist, wobei die poröse Schicht aus einer Titan- oder Nickellegierung hergestellt ist und die Panzerung eine Nickellegierung ist.

13. Schaufel nach einem der Ansprüche 9 bis 12,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Panzerung Oxide, Karbide und/oder Nitride als Hartstoffpartikel umfasst und/oder eine MCrAlY-Legierung mit M gleich Ni, Co oder Fe ist.

14. Schaufel nach einem der Ansprüche 9 bis 13,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Schaufel nach einem Verfahren gemäß der Ansprüche 1 bis 8 hergestellt ist.

15. Gasturbine mit mindestens einer Schaufel nach einem der Ansprüche 9 bis 14.

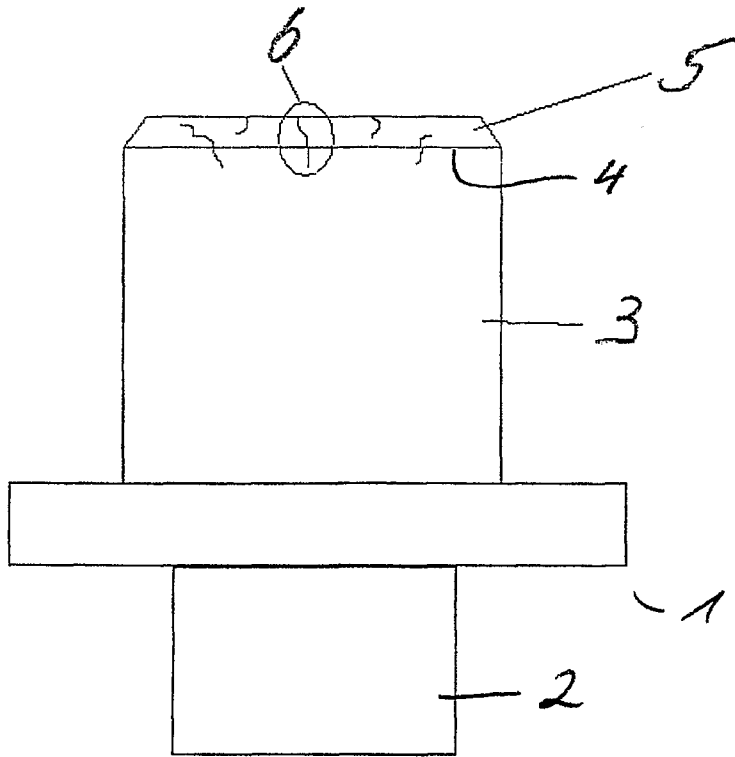


Fig. 1  
(Stand der Technik)

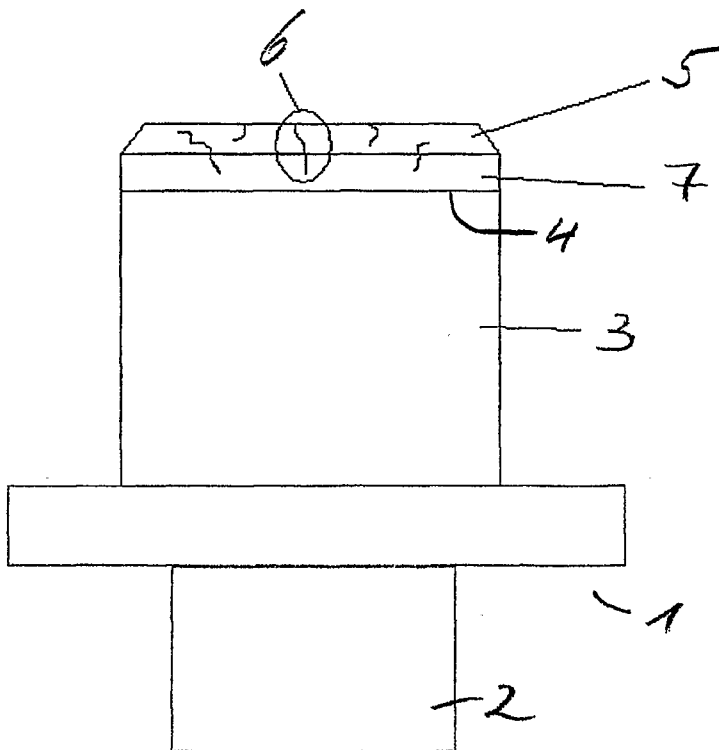


Fig. 2

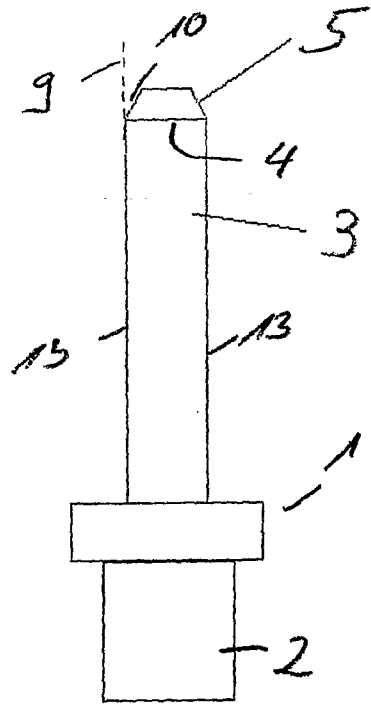


Fig. 3

(Stand der Technik)

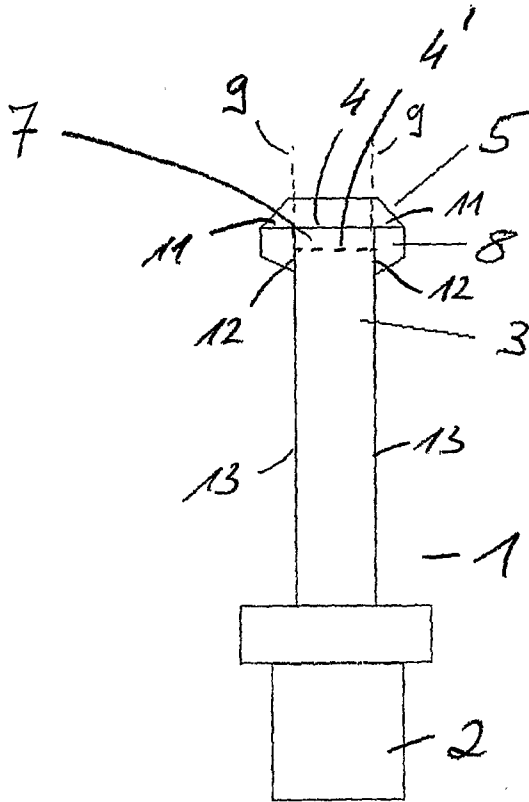


Fig. 4

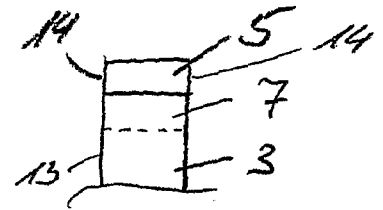


Fig. 5