

(19)



(11)

**EP 3 222 812 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**27.09.2017 Patentblatt 2017/39**

(51) Int Cl.:  
**F01D 5/00 (2006.01) F01D 11/12 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **16162221.2**

(22) Anmeldetag: **24.03.2016**

(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**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**MA MD**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**  
**80333 München (DE)**

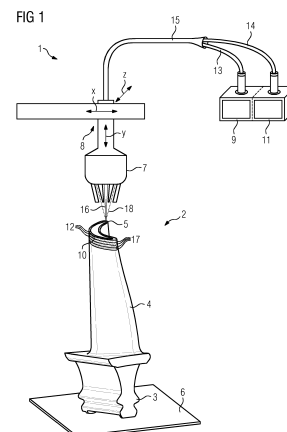
(72) Erfinder:  
• **Blank, Robin**  
**14167 Berlin (DE)**  
• **Burbaum, Bernd**  
**14612 Falkensee (DE)**  
• **Duchardt, Markus**  
**10405 Berlin (DE)**  
• **Farahbod, Lena**  
**12163 Berlin (DE)**

- **Gollmer, Marian**  
**10829 Berlin (DE)**
- **Jokisch, Torsten**  
**15366 Neuenhagen bei Berlin (DE)**
- **Krabiell, Kay**  
**16562 Hohen Neuendorf (DE)**
- **Lammers, Heiko**  
**10789 Berlin (DE)**
- **Laux, Britta**  
**14059 Berlin (DE)**
- **Lerche, Heiko**  
**13059 Berlin (DE)**
- **Lorenz, Thomas**  
**14193 Berlin (DE)**
- **Maiz, Khaled**  
**13355 Berlin (DE)**
- **Mertens, Dirk**  
**13189 Berlin (DE)**
- **Meyer, Tobias**  
**13503 Berlin (DE)**
- **Pipke, Romina**  
**10777 Berlin (DE)**

(54) **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG ODER REPARATUR EINER LAUF-SCHAUFEL, LAUFSCHAUFEL, VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG ODER REPARATUR EINES GEHÄUSES EINER STRÖMUNGSMASCHINE SOWIE DERARTIGES GEHÄUSE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung oder Reparatur einer Laufschaufel 2, die einen Schaufelfuß 3 und ein sich daran anschließendes Schaufelblatt 4 aufweist, das an seinem freien Ende eine Schaufelspitze 5 definiert, bei dem ein Grundwerkstoff 10 während der Fertigung der Schaufelspitze 5 derart mit Hartstoffpartikeln 12 angereichert wird, dass die Anzahl der Hartstoffpartikel 12 pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffs 10 in Richtung des freien Endes abnimmt. Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine entsprechende Laufschaufel 2. Die Erfindung betrifft zudem ein Verfahren zur Herstellung oder Reparatur eines Gehäuses 19 einer Strömungsmaschine das zur Aufnahme eines Läufers ausgelegt ist, an dem zumindest ein eine Vielzahl von Laufschaufeln 2 aufweisender Laufschaufelkranz angeordnet ist, wobei eine Innenfläche 20 des Gehäuses 19 in einem den Laufschaufelkranz umfänglich umgebenden Bereich mit einem Einlaufbelag 21 versehen wird, dessen Grundwerkstoff 10 derart mit Hartstoffpartikeln 12 angereichert wird, dass die Anzahl der

Hartstoffpartikel 12 pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffs 10 in einer radialen Einwärtsrichtung R des Gehäuses 19 abnimmt. Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein entsprechendes Gehäuse 19 einer Strömungsmaschine.

**EP 3 222 812 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung oder zur Reparatur einer Laufschaufel, die einen Schaufelfuß und ein sich daran anschließendes Schaufelblatt aufweist, das an seinem freien Ende eine Schaufelspitze definiert, bei dem ein Grundwerkstoff während der Fertigung der Schaufelspitze mit Hartstoffpartikeln angereichert wird. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine entsprechende Laufschaufel. Die Erfindung betrifft zudem ein Verfahren zur Herstellung oder zur Reparatur eines Gehäuses einer Strömungsmaschine, insbesondere Gasturbine, das zur Aufnahme eines Läufers ausgelegt ist, an dem zumindest ein eine Vielzahl von Laufschaufeln aufweisender Laufschaufelkranz angeordnet ist, wobei eine Innenfläche des Gehäuses in einem den Laufschaufelkranz umfänglich umgebenden Bereich mit einem Einlaufbelag versehen wird, dessen Grundwerkstoff mit Hartstoffpartikeln angereichert wird. Außerdem bezieht sich die Erfindung auf ein entsprechendes Gehäuse einer Strömungsmaschine.

**[0002]** Strömungsmaschinen, wie zum Beispiel Gasturbinen, weisen zumindest einen Laufschaufelkranz mit mehreren Laufschaufeln, der an einem Läufer angeordnet ist und zusammen mit diesem rotiert, und zumindest einen Leitschaufelkranz auf, dessen Leitschaufeln fest in einem Gehäuse der Strömungsmaschine eingebaut sind und das fluide Arbeitsmittel in einem optimalen Winkel auf die Laufschaufeln leiten. Sowohl die Laufschaufeln als auch die Leitschaufeln sind von dem feststehenden Gehäuse umschlossen. Zur Steigerung der Leistung solcher Strömungsmaschinen können verschiedenste Komponenten, insbesondere deren Dichtungssysteme, optimiert werden. Auch wenn in der nachfolgenden Beschreibung meist auf Gasturbinen Bezug genommen wird, ist dies nur exemplarisch zu sehen, so dass die beschriebenen Merkmale und deren Vorteile sich auch auf jede beliebige andere Strömungsmaschine beziehen können.

**[0003]** Von besonderer Bedeutung ist bei Gasturbinen sowohl die Realisierung eines minimalen Spalts zwischen den rotierenden Laufschaufeln und dem feststehenden Gehäuse sowie die Aufrechterhaltung eines solchen minimalen Spalts während dem Betrieb der Gasturbine. Denn zum einen bewirken die hohen Temperaturen und Temperaturveränderungen, die bei Gasturbinen auftreten, oftmals eine Veränderung der Spaltbreite. Zum anderen unterliegen die Laufschaufeln während des Betriebs sowohl einer starken Korrosion als auch einem abrasiven Abrieb, was ebenfalls zu einer Veränderung der Spaltbreite, insbesondere zu einer Spaltvergrößerung, und somit zu deutlichen Leistungsverlusten der Gasturbine führt. Auch aufgrund anderer Ereignisse, wie beispielsweise beim Wechsel vom Teillastbetrieb zum Vollastbetrieb der Gasturbine, verändert sich die Spaltbreite.

**[0004]** Um einen minimalen Spalt zu erzeugen ist es bekannt an der Schaufelspitze und/oder an dem der

Schaufelspitze gegenüberliegenden Gehäuse abrasive Schichten anzuordnen. Solche abreibbaren Beschichtungen sind beispielsweise in der DE 10 2011 081 323 B3 beschrieben. Auch das Anreichern solcher Beschichtungen mit Hartstoffpartikeln ist bekannt. Beispielsweise wird in der DE 10 2007 056 452 A1 vorgeschlagen, auf der Schaufelspitze einer Laufschaufel eine Panzerung aus einer Nickelbasislegierung oder einer Eisenbasislegierung mit darin eingelagerten Hartstoffpartikeln aufzubringen. Zusätzlich wird an einem Gehäuse ein Einlaufbelag angebracht, der aus einer metallischen Matrix mit darin eingelagerten Partikeln aus insbesondere Bentonit besteht. In der DE 10 2005 044 991 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung einer aus einer Hartstoff-Metall-Kombination bestehenden Schutzschicht für ein Bauteil einer Gasturbine beschrieben. Aus der EP 2 952 686 A1 ist bekannt, dass eine auf einem Teil einer Oberfläche einer Schaufelspitze angeordnete Beschichtung TiN, TiCN, Ti-AlN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CBN, Diamant oder Ähnliches umfassen kann. Bei einer Berührung zwischen der Schaufelspitze und dem Gehäuse werden derartige abrasive Schichten leicht abgetragen, wodurch ein vergleichsweise geringer Spalt erzeugt wird. Bei den aus dem Stand der Technik bekannten abrasiven Beschichtungen ist jedoch eine Aufrechterhaltung einer durch ein anfängliches Einfahren oder Einschleifen der Schaufelspitzen in die Gehäusewand erzeugten Spaltbreite über eine angemessene Betriebsdauer der Gasturbine bzw. der Laufschaufeln nicht möglich. Wie bereits zuvor erwähnt unterliegen insbesondere die Laufschaufeln auch nach dem anfänglichen Einschleifvorgang während des Betriebs der Gasturbine sowohl einer starken Korrosion als auch einem abrasiven Abrieb. Entsprechend werden die abrasiven Beschichtungen und Einlaufbeläge auch nach der anfänglichen Erzeugung der gewünschten Spaltbreite während des Betriebs der Gasturbine in einem unveränderten Maße weiter abgerieben. Dies führt dazu, dass diese Schichten oftmals schon nach wenigen 100 Betriebsstunden aufgebraucht sind, so dass sich durch eine Spaltvergrößerung ein deutlicher Leistungsverlust der Gasturbine bemerkbar macht.

**[0005]** Vor diesem Hintergrund liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung oder Reparatur einer Laufschaufel beziehungsweise ein Verfahren zur Herstellung oder Reparatur eines Gehäuses einer Strömungsmaschine bereitzustellen, das es ermöglicht, den mit einer fortschreitenden Betriebsdauer einer Strömungsmaschine einhergehenden Leistungsverlust der Strömungsmaschine zu minimieren und/oder zu verlangsamen. Des Weiteren sollen eine Laufschaufel und ein Gehäuse einer Strömungsmaschine angegeben werden.

**[0006]** Zur Lösung dieser Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren der eingangs genannten Art, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der Grundwerkstoff während der Fertigung der Schaufelspitze derart mit Hartstoffpartikeln angereichert wird, dass die Anzahl der Hartstoffpartikel pro Volumeneinheit des Grund-

werkstoffs in Richtung des freien Endes abnimmt. Eine solche variable Einbringung von Hartstoffpartikeln in den Grundwerkstoff ist äußerst vorteilhaft. Denn durch die abnehmende Hartstoffpartikeldichte in Richtung des freien Endes des Schaufelblattes kann ein optimaler Arbeitspunkt für einen minimalen Spalt gefunden werden und zugleich kann die Standzeit der Schaufelspitze verbessert und somit die optimale Spaltbreite zumindest länger aufrechterhalten werden. Durch die sich in Richtung des freien Endes verringernde Hartstoffpartikeldichte ergibt sich beim Einfahren der Schaufelspitze in der Gasturbine ein graduierter Widerstand, der zu einer verbesserten Spaltbreite führt, die auch länger aufrechterhalten werden kann. Da am äußersten freien Ende des Schaufelblattes eine relativ geringe Hartstoffpartikeldichte vorhanden ist, wird die Schaufelspitze in diesem Bereich beim Einschleifen in das Gehäuse relativ leicht am Gehäuse abgeschliffen. Eine solche leicht abreibbare Zone der Schaufelspitze ist generell sinnvoll, denn sie ermöglicht, dass zwischen den Laufschaufeln und der Innenfläche des Gehäuses lediglich ein verminderter Spalt vorgehalten werden muss. Die einwärts kontinuierlich zunehmende Hartstoffpartikeldichte erschwert einen weiteren Abrieb nach der anfänglichen Erzeugung der optimalen minimalen Spaltbreite, denn die Hartstoffpartikel verschleifen im Gegensatz zum Grundwerkstoff weniger. Sobald die Laufschaufel in dem Gehäuse eingeschliffen und die kleinstmögliche Spaltbreite erreicht ist, ist auch eine Hartstoffpartikeldichte an dem äußersten Ende des Schaufelblattes vorhanden, die optimal für eine ausreichende Festigkeit der verbleibenden Schaufelspitze ist. Durch einen daraus resultierenden stark verminderten weiteren Materialabtrag oder Abrieb wird eine sich durch den fortlaufenden Betrieb der Gasturbine ergebende Spaltvergrößerung begrenzt, minimiert oder deren Ausbildung zumindest deutlich verlangsamt. Es werden somit die Oxidations- und Erosionseigenschaften der Schaufelspitze verbessert.

**[0007]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung wird zumindest die Schaufelspitze schichtweise aufgebaut, wobei bei einem Auftragen der einzelnen Schichten die Hartstoffpartikel in den Grundwerkstoff eingebracht werden. So ist es beispielsweise möglich eine bereits vorhandene Laufschaufel im Bereich ihrer Schaufelspitze im Zuge einer Reparaturmaßnahme neu zu beschichten. Es ist jedoch auch möglich, dass die gesamte Laufschaufel von ihrem Schaufelfuß bis zu ihrer Schaufelspitze schichtweise aufgebaut wird. Bevorzugt werden in radialer Richtung benachbarte Schichten oder Gruppen von Schichten zumindest im Bereich der Schaufelspitze mit einer anderen Partikeldichte angereichert. Vorteilhafterweise sind die Hartstoffpartikel innerhalb jeder Schicht oder Gruppe von Schichten gleichmäßig verteilt, wodurch innerhalb einer Schicht sehr gleichmäßige Eigenschaften erzielt werden.

**[0008]** Vorzugsweise erfolgt der schichtweise Aufbau mittels eines generativen Fertigungsverfahrens, wie etwa Laserauftragsschweißen oder LMD, unter Verwen-

dung einer entsprechenden Fertigungsverfahren. Bevorzugt werden der Grundwerkstoff und die Hartstoffpartikel aus zwei separaten Vorratsbehältern der Fertigungsverfahren entweder über zwei separate Zuführungen der Fertigungsverfahren direkt zu einer Düse der Fertigungsverfahren gefördert oder zunächst zusammengeführt und dann über eine gemeinsame Zuführung zu der Düse gefördert. So ist es möglich, dass der Grundwerkstoff während der Fertigung der Schaufelspitze auf unterschiedliche Arten mit Hartstoffpartikeln angereichert wird. Beispielsweise kann eine bestimmte Menge an Grundwerkstoff und eine bestimmte Menge an Hartstoffpartikeln über zwei zunächst separate Zuführungen die beiden Vorratsbehälter verlassen. Anschließend kann die Menge an Grundwerkstoff mit der Menge an Hartstoffpartikeln zusammengeführt werden, so dass ein Pulvergemisch entsteht. In diesem Pulvergemisch können sowohl die Hartstoffpartikel als auch der Grundwerkstoff gleichmäßig verteilt sein. Das Pulvergemisch kann dann über eine gemeinsame Zuführung zu der Düse gefördert werden und gemeinsam auf- oder angeschmolzen werden. Hierbei wird der Grundwerkstoff bevorzugt aufgeschmolzen während die Hartstoffpartikel im Wesentlichen nicht auf- oder angeschmolzen werden. Alternativ kann es jedoch auch vorteilhaft sein, die Menge an Grundwerkstoff und die Menge an Hartstoffpartikeln entweder gleichzeitig oder zeitversetzt über die zwei separaten Zuführungen direkt zu der Düse der Fertigungsverfahren zu fördern. Im Falle eines pulverförmigen Grundwerkstoffs kann diese Förderung bevorzugt mittels eines oder mehrerer Pulverförderer geschehen. In diesem Fall kann zuerst der Grundwerkstoff mittels eines Lasers aufgeschmolzen werden und anschließend die Hartstoffpartikel in die Schmelze des Grundwerkstoffs und somit in die aufgetragene Schicht eingestrahlt oder eingebracht werden. Hier ist es insbesondere vorteilhaft wenn die Hartstoffpartikel innerhalb des Schmelzbades gleichmäßig verteilt, d.h. dispergiert, werden. Man spricht in diesem Fall auch von "Laser-Dispergieren". Bezüglich einer detaillierteren Beschreibung eines solchen Fertigungsverfahrens wird auf die Beschreibung der Zeichnung 1 verwiesen.

**[0009]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Grundwerkstoff eine oxidations- und/oder korrosionsbeständige, insbesondere metallische Matrix, insbesondere PWA795. Die Matrix kann aber auch auf einer Metall-Legierung basieren. Eine Oxidations- und/oder Korrosionsbeständigkeit ist besonders wichtig, da die Laufschaufeln einer Strömungsmaschine Fluiden, also Gasen oder Flüssigkeiten, ausgesetzt sind.

**[0010]** Bevorzugt handelt es sich bei den Hartstoffpartikeln um TiC und/oder TiN und/oder TaC. Es ist jedoch auch die Verwendung beliebiger anderer Hartstoffpartikel, wie etwa Hartstoffpartikel aus Oxyden oder Karbiden, denkbar. So können die Hartstoffpartikel beispielsweise auch aus Diamant, Bornitrid, Wolframkarbid, Chromkarbid, Zirkonoxid oder einer Mischung davon bestehen. Die Hartstoffpartikel können eine Partikelgröße

von 0,1  $\mu\text{m}$  - 200  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 5  $\mu\text{m}$  - 50  $\mu\text{m}$ , aufweisen. Es ist jedoch auch jede andere Partikelgröße denkbar, solange diese in einem angemessenen Verhältnis zu dem Volumen des Grundwerkstoffes steht.

**[0011]** Zur Lösung der eingangs genannten Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung ferner eine Laufschaufel der eingangs genannten Art, die einen Schaufelfuß und ein sich daran anschließendes Schaufelblatt aufweist, das an seinem freien Ende eine Schaufelspitze definiert, wobei im Bereich der Schaufelspitze ein Grundwerkstoff mit Hartstoffpartikeln angereichert ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Hartstoffpartikel pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffes in Richtung des freien Endes abnimmt.

**[0012]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist der Grundwerkstoff eine oxidations- und/oder korrosionsbeständige, insbesondere metallische Matrix, insbesondere PWA795. Die Matrix kann aber auch auf einer Metall-Legierung basieren.

**[0013]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung handelt es sich bei den Hartstoffpartikeln um TiC und/oder TiN und/oder TaC. Es ist jedoch auch die Verwendung beliebiger anderer Hartstoffpartikel, wie etwa Hartstoffpartikel aus Oxyden oder Karbiden, denkbar. So können die Hartstoffpartikel beispielsweise auch aus Diamant, Bornitrid, Wolframkarbid, Chromkarbid, Zirkonoxid oder einer Mischung davon bestehen. Die Hartstoffpartikel können bevorzugt eine Partikelgröße von 0,1  $\mu\text{m}$  - 200  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 5  $\mu\text{m}$  - 50  $\mu\text{m}$ , aufweisen. Es sind aber auch andere Partikelgrößen denkbar.

**[0014]** Bezüglich der jeweiligen Vorteile der vorstehend aufgezählten weiteren möglichen Ausgestaltungen der Laufschaufel wird auf die vorstehenden Ausführungen zum Herstellungs- oder Reparaturverfahren verwiesen.

**[0015]** Zur Lösung der eingangs genannten Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung ferner ein Verfahren zur Herstellung oder Reparatur eines Gehäuses einer Strömungsmaschine der eingangs genannten Art, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der Grundwerkstoff derart mit Hartstoffpartikeln angereichert wird, dass die Anzahl der Hartstoffpartikel pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffes in einer radialen Einwärtsrichtung des Gehäuses abnimmt. Eine solche variable Einbringung von Hartstoffpartikeln in den Grundwerkstoff ist äußerst vorteilhaft. Denn durch die abnehmende Hartstoffpartikeldichte in der radialen Einwärtsrichtung des Gehäuses kann ein optimaler Arbeitspunkt für einen minimalen Spalt gefunden werden und zugleich kann die Standzeit des Einlaufbelags verbessert und somit die optimale Spaltbreite zumindest länger aufrechterhalten werden. Durch die sich in Richtung der radialen Einwärtsrichtung des Gehäuses verringernde Hartstoffpartikeldichte ergibt sich beim Einfahren der Schaufelspitze in der Gasturbine ein graduierter Widerstand, der zu einer verbesserten Spaltbreite führt, die auch länger aufrechterhalten werden kann. Da in einem den Schaufelspitzen gegenüberliegenden äußersten Oberflächenbereich des Ein-

laufbelags eine relativ geringe Hartstoffpartikeldichte vorhanden ist, wird der Einlaufbelag in diesem Bereich beim Einschleifen in das Gehäuse relativ leicht an den äußersten Enden der Laufschaufeln abgeschliffen. Eine solche leicht abreibbare Zone des Einlaufbelags ist generell sinnvoll, denn sie ermöglicht, dass zwischen den Laufschaufeln und der Innenfläche des Gehäuses lediglich ein verminderter Spalt vorgehalten werden muss. Die auswärts kontinuierlich zunehmende Hartstoffpartikeldichte erschwert einen weiteren Abrieb nach der anfänglichen Erzeugung der optimalen minimalen Spaltbreite, denn die Hartstoffpartikel verschleifen im Gegensatz zum Grundwerkstoff weniger. Sobald die Laufschaufel in dem Gehäuse eingeschliffen und die kleinstmögliche Spaltbreite erreicht ist, ist auch eine Hartstoffpartikeldichte an der Oberfläche des Einlaufbelags vorhanden, die optimal für eine ausreichende Festigkeit des Einlaufbelags ist. Durch einen daraus resultierenden stark verminderten weiteren Materialabtrag oder Abrieb wird eine sich durch den fortlaufenden Betrieb der Gasturbine ergebende Spaltvergrößerung begrenzt, minimiert oder deren Ausbildung zumindest deutlich verlangsamt.

**[0016]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung wird der Einlaufbelag schichtweise aufgebaut, wobei bei einem Auftragen der Schichten die Hartstoffpartikel in den Grundwerkstoff eingebracht werden. Es kann auch das gesamte Gehäuse schichtweise aufgebaut werden. Hierbei ist auch denkbar, dass der Einlaufbelag in die Wandung des Gehäuses integriert wird, also zwar einen Teil der Innenfläche des Gehäuses bildet, jedoch nicht oder nur geringfügig über diese Innenfläche hinausragt. Bevorzugt werden in radialer Richtung benachbarte Schichten oder Gruppen von Schichten zumindest im Bereich des Einlaufbelags mit einer anderen Partikeldichte angereichert. Vorteilhafterweise sind die Hartstoffpartikel innerhalb jeder Schicht oder Gruppe von Schichten gleichmäßig verteilt.

**[0017]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung erfolgt der schichtweise Aufbau mittels eines generativen Fertigungsverfahrens, wie etwa Laserauftragsschweißen oder LMD, unter Verwendung einer entsprechenden Fertigungsverfahren. Vorteilhaft werden der Grundwerkstoff und die Hartstoffpartikel aus zwei separaten Vorratsbehältern der Fertigungsverfahren entweder über zwei separate Zuführungen der Fertigungsverfahren direkt zu einer Düse der Fertigungsverfahren gefördert oder zunächst zusammengeführt und dann über eine gemeinsame Zuführung zu der Düse gefördert.

**[0018]** Bevorzugt ist der Grundwerkstoff eine oxidations- und/oder korrosionsbeständige, insbesondere metallische Matrix, insbesondere PWA795. Die Matrix kann aber auch auf einer Metall-Legierung basieren.

**[0019]** Vorteilhafterweise handelt es sich bei den Hartstoffpartikeln um TiC und/oder TiN und/oder TaC. Es ist jedoch auch die Verwendung beliebiger anderer Hartstoffpartikel, wie etwa Hartstoffpartikel aus Oxyden oder Karbiden, denkbar. So können die Hartstoffpartikel bei-

spielsweise auch aus Diamant, Bornitrid, Wolframkarbid, Chromkarbid, Zirkonoxid oder einer Mischung davon bestehen. Die Hartstoffpartikel können eine Partikelgröße von 0,1 µm - 200 µm, insbesondere von 5 µm - 50 µm, aufweisen. Es sind jedoch auch andere Partikelgrößen denkbar.

**[0020]** Bezüglich weiterer möglicher Ausgestaltungen und der jeweiligen Vorteile der vorstehend aufgezählten möglichen Ausgestaltungen des Verfahrens zur Herstellung oder Reparatur eines Gehäuses einer Strömungsmaschine wird insbesondere auf die vorstehenden Ausführungen zum Verfahren zur Herstellung oder Reparatur einer Laufschaufel verwiesen.

**[0021]** Zur Lösung der eingangs genannten Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung ferner ein Gehäuse einer Strömungsmaschine, insbesondere Gasturbine, der eingangs genannten Art, das zur Aufnahme eines Läufers ausgelegt ist, an dem zumindest ein eine Vielzahl von Laufschaufeln aufweisender Laufschaufelkranz angeordnet ist, wobei eine Innenfläche des Gehäuses zumindest in einem den Laufschaufelkranz umfänglich umgebenden Bereich mit einem Einlaufbelag versehen ist, dessen Grundwerkstoff mit Hartstoffpartikeln angereichert ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Hartstoffpartikel pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffs in einer radialen Einwärtsrichtung des Gehäuses abnimmt.

**[0022]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist der Grundwerkstoff eine oxidations- und/oder korrosionsbeständige, insbesondere metallische Matrix, insbesondere PWA795. Die Matrix kann aber auch auf einer Metall-Legierung basieren.

**[0023]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung handelt es sich bei den Hartstoffpartikeln um TiC und/oder TiN und/oder TaC. Es ist jedoch auch die Verwendung beliebiger anderer Hartstoffpartikel, wie etwa Hartstoffpartikel aus Oxyden oder Karbiden, denkbar. So können die Hartstoffpartikel beispielsweise auch aus Diamant, Bornitrid, Wolframkarbid, Chromkarbid, Zirkonoxid oder einer Mischung davon bestehen. Die Hartstoffpartikel können bevorzugt eine Partikelgröße von 0,1 µm - 200 µm, insbesondere von 5 µm - 50 µm, aufweisen. Es sind jedoch auch andere Partikelgrößen denkbar.

**[0024]** Bezüglich der jeweiligen Vorteile der vorstehend aufgezählten weiteren möglichen Ausgestaltungen des Gehäuses einer Strömungsmaschine wird auch hier insbesondere auf die vorstehenden Ausführungen zum Verfahren zur Herstellung oder Reparatur einer Laufschaufel verwiesen.

**[0025]** Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der nachfolgenden Beschreibung einer Ausführungsform eines generativen Herstellungsverfahrens, einer Ausführungsform einer Laufschaufel sowie einer Ausführungsform eines Gehäuses einer Strömungsmaschine gemäß der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung deutlich. Darin ist

Figur 1 eine schematische Ansicht einer Fertigungsverfahren in einem Zustand während der Herstellung einer Laufschaufel unter Verwendung eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Figur 2 eine perspektivische schematische Ansicht einer Laufschaufel gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Figur 3 eine schematische Schnittansicht eines Gehäuses einer Strömungsmaschine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0026]** Figur 1 zeigt eine schematische Ansicht einer Fertigungsverfahren 1 in einem Zustand während der Herstellung einer Laufschaufel 2, die einen Schauffelfuß 3 und ein daran anschließendes Schaufelblatt 4 aufweist, das an seinem freien Ende eine Schauffelspitze 5 definiert. Die Fertigungsverfahren 1 weist eine ortsfeste Bauplattform 6, eine Düse 7 mit integriertem Laser, eine Positionierungsvorrichtung 8 für die Düse 7, einen Vorratsbehälter 9 für einen pulverförmigen Grundwerkstoff 10, einen Vorratsbehälter 11 für pulverförmige Hartstoffpartikel 12 sowie Zuführungen 13, 14, 15 auf, über die die Vorratsbehälter 9, 11 mit der Düse 7 verbunden sind. In der vorliegenden Ausführungsform handelt es sich bei dem pulverförmigen Grundwerkstoff 10 um PWA795 und bei den Hartstoffpartikeln 12 um TiC mit einer Partikelgröße von 25 µm. Selbstverständlich sind auch andere Grundwerkstoffe 10 und/oder Hartstoffpartikel 12 sowie andere Partikelgrößen denkbar.

**[0027]** Das mittels der zuvor beschriebenen Fertigungsverfahren 1 durchgeführte Verfahren ist ein generatives Fertigungsverfahren, das auf dem klassischen LMD-Verfahren basiert. Es ermöglicht eine schichtweise Fertigung der Laufschaufel 2 aus dem Grundwerkstoff 10 und den Hartstoffpartikeln 12 auf der vorliegenden ortsfesten Bauplattform 6 auf Basis von CAD-Daten.

**[0028]** Der schichtweise Aufbau der Laufschaufel 2 beginnt mit der Fertigung des Schauffelfußes 3. Während der Fertigung des Schauffelfußes 3 und während der anschließenden Fertigung eines Großteils des Schaufelblattes 4 wird der pulverförmige Grundwerkstoff 10 über die Zuführungen 13 und 15 von dem Vorratsbehälter 9 zu der Düse 7 gefördert. Der pulverförmige Grundwerkstoff 10 wird dann mit Hilfe der Düse 7 gezielt auf die Bauplattform 6 gerichtet und auf seinem Weg zur Bauplattform 6 unter Einsatz eines aus der Mitte der Düse 7 austretenden Laserstrahls 16 des Lasers auf- oder angeschmolzen. Der geschmolzene Grundwerkstoff 10 bildet nach seiner Erstarrung eine feste Materialschicht. Um den pulverförmigen Grundwerkstoff 10 bei der Fertigung einer Schicht gezielt aufzutragen, wird die Düse 7 mit Hilfe der Positionierungsvorrichtung 8 innerhalb einer x- z-Ebene bewegt. Nach jeder aufgetragenen Schicht wird die Düse 7 dann um den Betrag einer Schichtdicke in y-Richtung angehoben, woraufhin die sich anschließende Schicht generiert wird. Dies wird so

lange wiederholt, bis sowohl der Schaufelfuß 3 als auch ein Großteil des Schaufelblattes 4 fertiggestellt sind. Die Materialschichten im Bereich des Schaufelfußes 3 und des Schaufelblattes 4 sind in der Figur 1 der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Selbstverständlich kann in einer anderen Ausführungsform auch die Bauplattform 6 um die jeweilige Schichtdicke abgesenkt und die Düse entsprechend ortsfest positioniert werden.

**[0029]** Während der anschließenden Fertigung der Schaufelspitze 5 des Schaufelblattes 4 wird der Grundwerkstoff 10 derart mit den Hartstoffpartikeln 12 angereichert, dass die Anzahl der Hartstoffpartikel 12 pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffes 10 in Richtung des freien Endes des Schaufelblattes 4 abnimmt. Beim Auftragen der einzelnen Schichten 17 im Bereich der Schaufelspitze 5, das vom Grundprinzip her wie der zuvor beschriebene schichtweise Aufbau des Schaufelfußes 3 und des Großteils des Schaufelblattes 4 funktioniert, können die Hartstoffpartikel 12 auf unterschiedliche Weise in den Grundwerkstoff 10 eingebracht werden. In der in Figur 1 dargestellten und hier näher beschriebenen Ausführungsform verlässt ein bestimmter Volumenstrom an pulverförmigem Grundwerkstoff 10 über die Zuführung 13 den Vorratsbehälter 9 und verlässt ein bestimmter Volumenstrom an Hartstoffpartikeln 12 über die Zuführung 14 den Vorratsbehälter 11. Durch eine Zusammenführung des Volumenstroms an Grundwerkstoff 10 und des Volumenstroms an Hartstoffpartikeln 12 entsteht ein Pulvergemisch 18, in dem sowohl die Partikel des pulverförmigen Grundwerkstoffes 10 als auch die Hartstoffpartikel 12 gleichmäßig verteilt sind. Dieses Pulvergemisch 18 wird über die gemeinsame Zuführung 15 zu der Düse 7 gefördert. Wie bereits zuvor im Zusammenhang mit dem Aufbringen von Schichten aus reinem Grundwerkstoff 10 auf analoge Weise beschrieben, wird das Pulvergemisch 18 nun mit Hilfe der Düse 7 gezielt auf die Bauplattform 6 gerichtet und auf seinem Weg zur Bauplattform 6 unter Einsatz des Laserstrahls 16 auf- oder angeschmolzen. Wichtig ist hierbei, dass im Wesentlichen der in der Pulvermischung enthaltene Grundwerkstoff 10 aufgeschmolzen wird. Die ebenfalls in der Pulvermischung enthaltenen Hartstoffpartikel 12 werden nicht oder nur geringfügig aufgeschmolzen. Nach der Erstarrung des teilweise geschmolzenen Pulvergemisches 18 bildet sich eine feste Materialschicht 17 aus.

**[0030]** In einer anderen Ausführungsform, die hier nicht dargestellt ist, ist es jedoch auch möglich, dass der pulverförmige Grundwerkstoff 10 und die Hartstoffpartikel 12 über zwei separate Zuführungen direkt zu der Düse 7 gefördert werden, ohne dass die separaten Volumenströme vorher zusammengeführt und/oder vermischt werden. In diesem Fall wird zuerst der aufgeschmolzene Grundwerkstoff 10 auf die zuletzt ausgebildete Materialschicht aufgetragen woraufhin die Hartstoffpartikel 12 in die Schmelze des Grundwerkstoffes 10 und somit in die Schicht 17 eingestrahlt oder eingebracht werden. Sowohl in dieser alternativen Ausführungsform als auch in der in Figur 1 dargestellten und hier beschriebe-

nen Ausführungsform wird die Schaufelspitze 5 der Laufschaufel 2 Schicht 17 für Schicht 17 auf die zuvor beschriebene Art und Weise aufgebaut. Hierbei wird die Zusammensetzung des Pulvergemisches 18 vor jedem Aufbau einer neuen Schicht 17 angepasst, indem die Menge an Hartstoffpartikeln 12 pro Volumeneinheit des in dem Pulvergemisch 18 enthaltenen Grundwerkstoffes 10 reduziert wird. Alternativ wird im Falle zweier separater zur Düse 7 geförderter Volumenströme der Volumenstrom an Hartstoffpartikeln 12 bei einem gleichbleibenden Volumenstrom an pulverförmigem Grundwerkstoff 10 reduziert. Somit wird jede aufeinander folgende Schicht 17 der Schaufelspitze 5 mit einer andere Partikeldichte ausgebildet, wobei die Partikeldichte in Richtung des freien Endes des Schaufelblattes 4 abnimmt. Es sollte klar sein, dass das Fertigungsverfahren der Laufschaufel 2 nicht notwendigerweise auf einem LMD-Verfahren basieren muss, sondern dass auch beliebige andere insbesondere generative Fertigungsverfahren umfasst sind, zu deren Durchführung eine beliebige andere geeignete Fertigungsverfahren 1 verwendet werden kann. Ebenso sollte klar sein, dass in einer anderen hier nicht dargestellten Ausführungsform auch nur die Schaufelspitze 5 schichtweise aufgebaut werden kann.

**[0031]** Figur 2 zeigt eine perspektivische schematische Ansicht einer Laufschaufel 2 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die beispielsweise in der zuvor beschriebenen Weise unter Verwendung der in Figur 1 dargestellten Fertigungsverfahren 1 schichtweise hergestellt wurde. Die Laufschaufel 2 weist einen Schaufelfuß 3 und ein sich daran anschließendes Schaufelblatt 4 auf, das an seinem freien Ende eine Schaufelspitze 5 definiert, wobei im Bereich der Schaufelspitze 5 ein Grundwerkstoff 10 mit Hartstoffpartikeln 12 angereichert ist, wobei die Anzahl der Hartstoffpartikel 12 pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffes 10 in Richtung des freien Endes abnimmt. In der vorliegenden Ausführungsform handelt es sich bei dem Grundwerkstoff 10 um PWA795 und bei den Hartstoffpartikeln 12 um TiC mit einer Partikelgröße von 25 µm.

**[0032]** Selbstverständlich können auch andere Grundwerkstoffe 10 und/oder Hartstoffpartikel 12 verwendet werden und können die Hartstoffpartikel 12 auch andere Partikelgrößen aufweisen. In dem Falle, dass zumindest die Schaufelspitze 5 der Laufschaufel 2 schichtweise aufgebaut wurde, kann jede in radialer Richtung benachbarte Schicht 17 oder Gruppe von Schichten 17 eine andere Partikeldichte aufweisen, wobei die Hartstoffpartikel 12 innerhalb jeder Schicht 17 oder Gruppe von Schichten 17 gleichmäßig verteilt sind. Ein solcher schichtweise Aufbau der Schaufelspitze 5 ist in der Figur 2 ebenfalls angedeutet. Die Laufschaufel 2 kann jedoch auch durch ein beliebiges anderes Verfahren hergestellt werden. Beispielsweise können insbesondere der Schaufelfuß 3 und das Schaufelblatt 4 der Laufschaufel 2 durch ein Metallgussverfahren hergestellt sein und nur die Schaufelspitze 5 schichtweise hergestellt sein. Alternativ kann auch die gesamte Laufschaufel 2 durch ein Metallguss-

verfahren hergestellt sein.

**[0033]** Figur 3 zeigt eine schematische Schnittansicht eines Gehäuses 19 einer Strömungsmaschine, insbesondere Gasturbine, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

**[0034]** Das Gehäuse 19 ist zur Aufnahme eines Läufers ausgelegt, an dem zumindest ein eine Vielzahl von Laufschaufeln 2 aufweisender Laufschaufelkranz angeordnet ist, wobei eine Innenfläche 20 des Gehäuses 19 in einem den Laufschaufelkranz umfänglich umgebenden Bereich mit einem Einlaufbelag 21 versehen ist, dessen Grundwerkstoff 10 mit Hartstoffpartikeln 12 angereichert ist, wobei die Anzahl der Hartstoffpartikel 12 pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffs 10 in einer radialen Einwärtsrichtung R des Gehäuses 19 abnimmt. In der vorliegenden Ausführungsform handelt es sich bei dem Grundwerkstoff 10 um PWA795 und bei den Hartstoffpartikeln 12 um TiC mit einer Partikelgröße von 25 µm. Selbstverständlich können auch andere Grundwerkstoffe 10 und/oder Hartstoffpartikel 12 verwendet werden und können die Hartstoffpartikel 12 auch andere Partikelgrößen aufweisen.

**[0035]** In der in Figur 3 dargestellten und hier beschriebenen Ausführungsform ist der Einlaufbelag 21 schichtweise aufgebaut. Ein solcher schichtweiser Aufbau kann beispielsweise mittels der zuvor im Zusammenhang mit der Herstellung einer Laufschaufel 2 ausführlich beschriebenen Fertigungsverfahren 1 realisiert worden sein. Es sind jedoch auch andere Fertigungsverfahren zur Durchführung des erfindungsgemäßen Fertigungsverfahrens denkbar. Ein schichtweiser Aufbau des Einlaufbelags 21 und/oder des Gehäuses 19 der Strömungsmaschine ist jedoch nicht zwingend erforderlich. In der Figur 3 sind beispielhaft drei Schichten 22 dargestellt, die jeweils eine andere Partikeldichte aufweisen. Wie auch zu erkennen ist, sind die Hartstoffpartikel 12 innerhalb jeder der drei Schichten 22 gleichmäßig verteilt. Der Übersichtlichkeit halber sind in der Figur 3 weder die vollständige Strömungsmaschine noch deren Läufer oder der daran angeordnete Laufschaufelkranz dargestellt. Figur 3 zeigt jedoch eine Laufschaufel 2 des Laufschaufelkranzes, die einen Schaufelfuß 3 und ein daran anschließendes Schaufelblatt 4 aufweist, das an seinem freien Ende eine Schaufelspitze 5 definiert. Es ist zu erkennen, dass der Einlaufbelag 21 in seinem der Schaufelspitze 5 unmittelbar gegenüberliegenden Bereich eine Einmündung 23 aufweist, dessen Ursprung in einem Einschleifen der Laufschaufeln 2 während eines Betriebes der Strömungsmaschine liegt. Der Einlaufbelag 21 muss jedoch, insbesondere wenn er ungebraucht ist, keine Einmündung 23 aufweisen.

**[0036]** Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung oder zur Reparatur einer Laufschaufel (2),  
die einen Schaufelfuß (3) und ein sich daran anschließendes Schaufelblatt (4) aufweist, das an seinem freien Ende eine Schaufelspitze (5) definiert, bei dem ein Grundwerkstoff (10) während der Fertigung der Schaufelspitze (5) mit Hartstoffpartikeln (12) angereichert wird,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** der Grundwerkstoff (10) während der Fertigung der Schaufelspitze (5) derart mit Hartstoffpartikeln (12) angereichert wird, dass die Anzahl der Hartstoffpartikel (12) pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffs (10) in Richtung des freien Endes abnimmt.
2. Laufschaufel (2), die einen Schaufelfuß (3) und ein sich daran anschließendes Schaufelblatt (4) aufweist, das an seinem freien Ende eine Schaufelspitze (5) definiert, wobei im Bereich der Schaufelspitze (5) ein Grundwerkstoff (10) mit Hartstoffpartikeln (12) angereichert ist,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der Hartstoffpartikel (12) pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffs (10) in Richtung des freien Endes abnimmt.
3. Verfahren zur Herstellung oder zur Reparatur eines Gehäuses (19) einer Strömungsmaschine, insbesondere Gasturbine, das zur Aufnahme eines Läufers ausgelegt ist, an dem zumindest ein eine Vielzahl von Laufschaufeln (2) aufweisender Laufschaufelkranz angeordnet ist, wobei eine Innenfläche (20) des Gehäuses (19) in einem den Laufschaufelkranz umfänglich umgebenden Bereich mit einem Einlaufbelag (21) versehen wird, dessen Grundwerkstoff mit Hartstoffpartikeln (12) angereichert wird,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** der Grundwerkstoff (10) derart mit Hartstoffpartikeln (12) angereichert wird, dass die Anzahl der Hartstoffpartikel (12) pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffs (10) in einer radialen Einwärtsrichtung (R) des Gehäuses (19) abnimmt.
4. Gehäuse (19) einer Strömungsmaschine, insbesondere Gasturbine, das zur Aufnahme eines Läufers ausgelegt ist, an dem zumindest ein eine Vielzahl von Laufschaufeln (2) aufweisender Laufschaufelkranz angeordnet ist, wobei eine Innenfläche (20) des Gehäuses (19) zumindest in einem den Laufschaufelkranz umfänglich umgebenden Bereich mit einem Einlaufbelag (21) versehen ist, dessen Grundwerkstoff (10) mit Hartstoffpartikeln (12) angereichert ist,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Anzahl der Hartstoffpartikel (12) pro Volumeneinheit des Grundwerkstoffs (10) in einer radialen Einwärtsrichtung (R)

des Gehäuses (19) abnimmt.

und/oder TaC handelt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest die Schaufelspitze (5) und/oder der Einlaufbelag (21) schichtweise aufgebaut wird, wobei bei einem Auftragen der einzelnen Schichten (17, 22) die Hartstoffpartikel (12) in dem Grundwerkstoff (10) eingebracht werden. 5  
10
6. Verfahren nach Anspruch 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die gesamte Laufschaufel (2) und/oder das gesamte Gehäuse (19) schichtweise aufgebaut wird. 15
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** in radialer Richtung benachbarte Schichten (17, 22) oder Gruppen von Schichten (17, 22) mit einer anderen Partikeldichte angereichert werden. 20
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Hartstoffpartikel (12) innerhalb jeder Schicht (17, 22) oder Gruppe von Schichten (17, 22) gleichmäßig verteilt sind. 25
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** der schichtweise Aufbau mittels eines generativen Fertigungsverfahrens, wie etwa Laserauftragsschweißen oder LMD, unter Verwendung einer entsprechenden Fertigungsvorrichtung (1) erfolgt. 30
10. Verfahren nach Anspruch 9,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** der Grundwerkstoff (10) und die Hartstoffpartikel (12) aus zwei separaten Vorratsbehältern (9, 11) der Fertigungsvorrichtung (1) entweder über zwei separate Zuführungen (13, 14) der Fertigungsvorrichtung (1) direkt zu einer Düse (7) der Fertigungsvorrichtung (1) gefördert werden oder zunächst zusammengeführt und dann über eine gemeinsame Zuführung (15) zu der Düse (7) gefördert werden. 35  
40  
45
11. Verfahren und/oder Laufschaufel (2) und/oder Gehäuse (19) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** der Grundwerkstoff (10) eine oxidations- und/oder korrosionsbeständige, insbesondere metallische Matrix, insbesondere PWA795, ist. 50
12. Verfahren und/oder Laufschaufel (2) und/oder Gehäuse (19) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei den Hartstoffpartikeln (12) um TiC und/oder TiN 55

13. Verfahren und/oder Laufschaufel (2) und/oder Gehäuse (19) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Hartstoffpartikel (12) eine Partikelgröße von 0,1  $\mu\text{m}$  - 200  $\mu\text{m}$ , insbesondere von 5  $\mu\text{m}$  - 50  $\mu\text{m}$ , aufweisen.

FIG 1

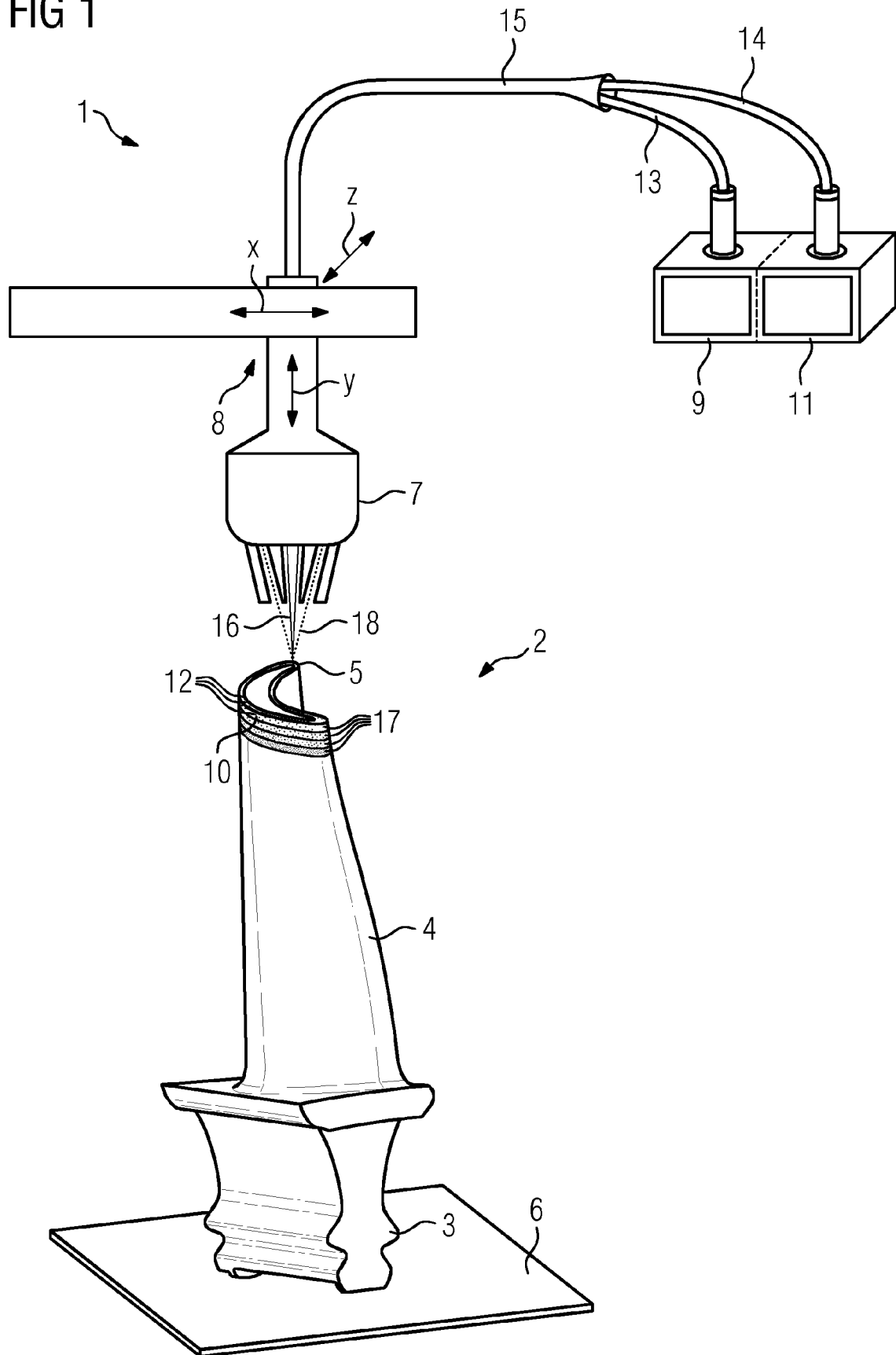


FIG 2

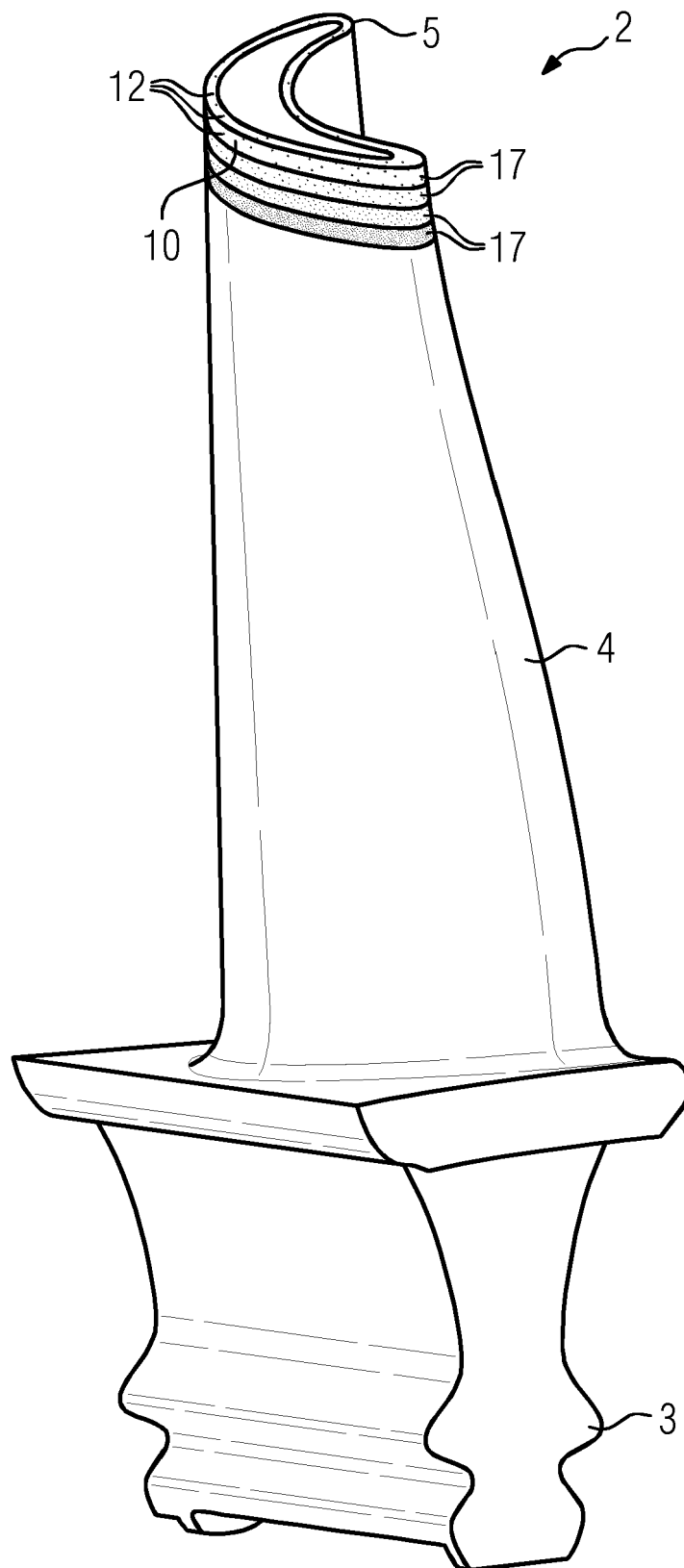
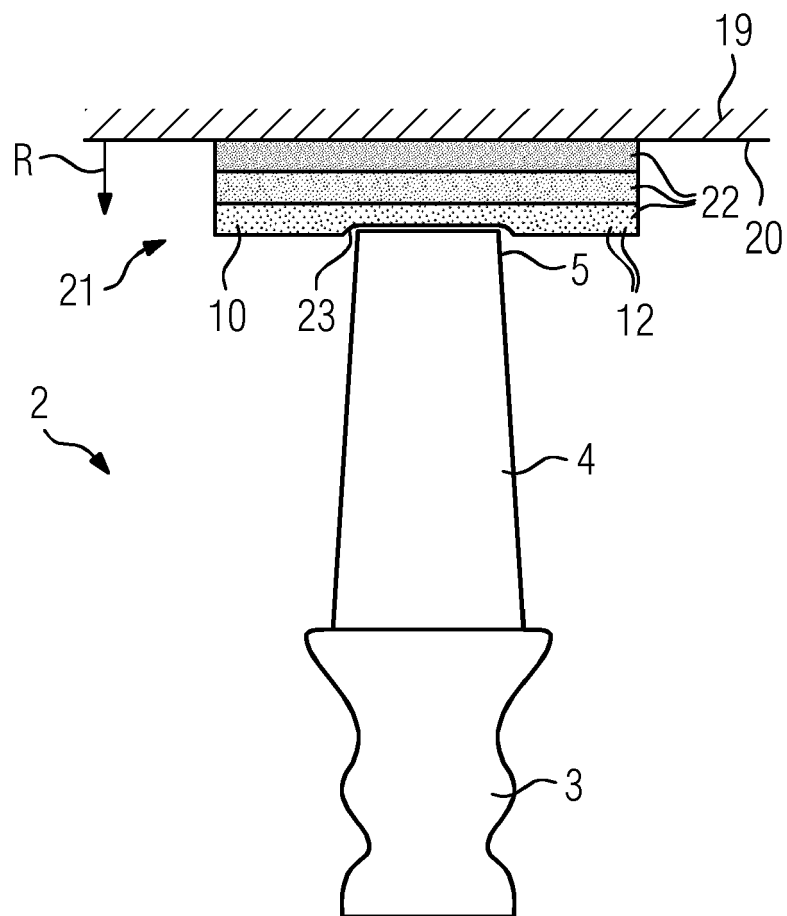


FIG 3





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 16 16 2221

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                                                             | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2010/284797 A1 (JARRABET GREGORY PAUL [US] ET AL) 11. November 2010 (2010-11-11)<br>* Absatz [0045] - Absatz [0051]; Abbildung 5 *                                                           | 1-13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | INV.<br>F01D5/00<br>F01D11/12           |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | WO 2005/014979 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]; BAYER ERWIN [DE]; SMARSLY WILFRIED [DE]) 17. Februar 2005 (2005-02-17)<br>* Seite 4, Absatz 3 - Seite 5, Absatz 2; Ansprüche 1-17; Abbildung 1 * | 1-13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                         |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 3 340 084 A (ALFRED EISENLOHR) 5. September 1967 (1967-09-05)<br>* Spalte 3, Zeile 47 - Zeile 58; Abbildungen 1-7 *                                                                          | 1-13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                         |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | WO 2011/000348 A1 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]; ZEUGNER MAIK [DE]; ROESING JUERGEN [DE]; S) 6. Januar 2011 (2011-01-06)<br>* Seite 7, Zeile 5 - Zeile 21; Abbildungen 1,3,4,5 *                  | 1-9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                         |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | EP 1 365 107 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]) 26. November 2003 (2003-11-26)<br>* Absatz [0025]; Abbildungen 3-6 *                                                                            | 1-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)<br>F01D |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2004/110021 A1 (SETH BRIJ B [US] ET AL) 10. Juni 2004 (2004-06-10)<br>* Absatz [0023]; Abbildung 3 *                                                                                         | 1-4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                         |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                         |
| Recherchenort<br>München                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                 | Abschlußdatum der Recherche<br>5. Oktober 2016                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Prüfer<br>Avramidis, Pavlos             |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                                                                 | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                         |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 16 16 2221

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

05-10-2016

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie                                                                       | Datum der<br>Veröffentlichung                                                    |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| US 2010284797 A1                                   | 11-11-2010                    | KEINE                                                                                                   |                                                                                  |
| WO 2005014979 A1                                   | 17-02-2005                    | DE 10337094 A1<br>EP 1654441 A1<br>US 2009110560 A1<br>WO 2005014979 A1                                 | 03-03-2005<br>10-05-2006<br>30-04-2009<br>17-02-2005                             |
| US 3340084 A                                       | 05-09-1967                    | KEINE                                                                                                   |                                                                                  |
| WO 2011000348 A1                                   | 06-01-2011                    | DE 102009031313 A1<br>WO 2011000348 A1                                                                  | 05-05-2011<br>06-01-2011                                                         |
| EP 1365107 A1                                      | 26-11-2003                    | CA 2407544 A1<br>CN 1457384 A<br>EP 1365107 A1<br>JP 2002256808 A<br>US 2004096318 A1<br>WO 02068799 A1 | 22-10-2002<br>19-11-2003<br>26-11-2003<br>11-09-2002<br>20-05-2004<br>06-09-2002 |
| US 2004110021 A1                                   | 10-06-2004                    | US 2004110021 A1<br>US 2004202885 A1                                                                    | 10-06-2004<br>14-10-2004                                                         |

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**

- DE 102011081323 B3 [0004]
- DE 102007056452 A1 [0004]
- DE 102005044991 A1 [0004]
- EP 2952686 A1 [0004]