

(19)



(11)

EP 4 170 132 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
26.04.2023 Patentblatt 2023/17

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01D 11/12 ^(2006.01) **F01D 5/20** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21203824.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01D 11/122; F01D 5/20; F05D 2250/11;
F05D 2250/13; F05D 2250/182; F05D 2250/23;
F05D 2250/294; F05D 2300/224; F05D 2300/2282

(22) Anmeldetag: **20.10.2021**

(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:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Barnikel, Jochen**
45470 Mülheim an der Ruhr (DE)
• **Lübbe, Bertold**
45473 Mülheim an der Ruhr (DE)
• **Sürken, Norbert**
45478 Mülheim a.d. Ruhr (DE)
• **Teuber, Hannes**
40625 Düsseldorf (DE)

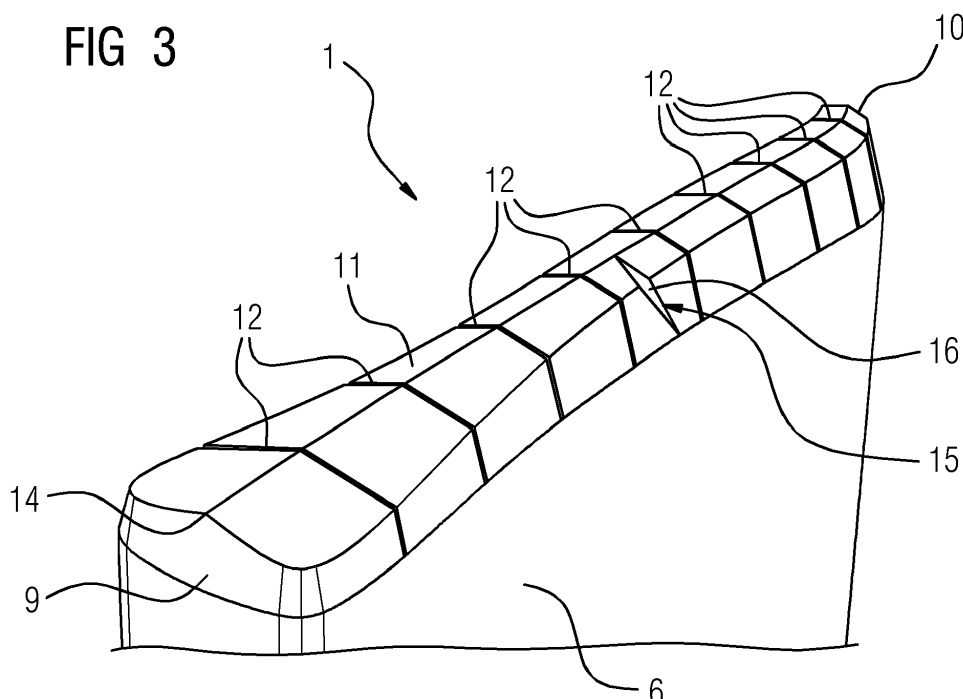
(71) Anmelder: **Siemens Energy Global GmbH & Co.
KG**
81739 München (DE)

(54) **SCHAUFEL FÜR EINE STRÖMUNGSMASCHINE SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER SCHAUFEL, WOBEI DIE SCHAUFEL EINE SCHAUFELSPITZE MIT EINER ANSTREIFSCHICHT AUFWEIST**

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaufel (1) für eine Strömungsmaschine, wobei die Schaufel (1) entlang einer Radialrichtung (3) ausgebildet ist und eine Schaufelspitze (4) sowie ein Schaufelquerschnittsprofil mit einer Druck- (5) und einer Saugseite (6) aufweist, wobei die Schaufel (1) eine Schaufelspitzenoberfläche (7) auf-

weist, die im Betrieb einer Gehäuseinnenwand gegenüberliegt, wobei die Schaufelspitzenoberfläche (7) eine Anstreifschicht (8) aufweist, wobei die Anstreifschicht (8) derart ausgebildet ist, dass im Betrieb bei einem Kontakt mit der Gehäuseinnenwand eine Abtragung der Anstreifschicht (8) erfolgt.

FIG 3



EP 4 170 132 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schaufel für eine Strömungsmaschine, wobei die Schaufel entlang einer Radialrichtung ausgebildet ist und eine Schaufelspitze sowie ein Schaufelquerschnittsprofil mit einer Druck- und einer Saugseite aufweist, wobei die Schaufel eine Schaufelspitzenoberfläche aufweist, die im Betrieb einer Gehäuseinnenwand gegenüberliegt, wobei die Schaufelspitzenoberfläche eine Anstreifschicht aufweist.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Anstreifschicht.

[0003] In Strömungsmaschinen zur Be- und Verarbeitung von strömenden, flüssigen und/oder gasförmigen Medien sind häufig Spalte zwischen beweglichen und ruhenden Bauteilen gegen das strömende Medium abzudichten. Beispiele für eine Strömungsmaschine sind Dampfturbinen, Gasturbinen, Verdichter, usw.

[0004] In Dampfturbinen wird ein Spalt zwischen einem Rotor und einem diesen umgebenden Gehäuse abgedichtet, um dem Dampf einen Weg vorbei an Schaufelkränzen zu versperren. Die Qualität dieser Dichtungen hat erheblichen Einfluss auf den Wirkungsgrad dieser Strömungsmaschinen.

[0005] In einer Strömungsmaschine wird das Prinzip der Dralländerung zur Wandlung innerer Energie eines Arbeitsfluides in mechanische/r Energie eines rotierenden Bauteiles ausgenutzt. Damit das Arbeitsfluid den Prozess nicht verlassen kann, sind die strömungsführenden Bauteile in der Regel geschlossen, so dass sich eine Innenströmung ergibt.

[0006] Um ein störungsfreies Drehen einer Strömungsmaschinenkomponente in einer strömungsführenden Geometrie zu ermöglichen, sind Radialspalte zwischen stehenden und rotierenden Komponenten zwingend erforderlich.

[0007] Die Radialspalte müssen dabei zur Verlustreduzierung so klein wie möglich und aus Integritätssicht so groß wie nötig ausgeführt werden.

[0008] Im Allgemeinen wird der Radialspalt zwischen einer Rotorschaufelspitze einer Schaufel in einer Strömungsmaschine und dem gegenüberliegenden Gehäuse so ausgeführt, dass eine Überbrückung des Radialspaltes in jedem sinnvoll anzunehmenden Betriebsfall vermieden wird.

[0009] In einer Niederdruckdampfturbine als Ausführungsform einer Strömungsmaschine kommt das Problem der Tropfenschlagerosion hinzu. Hierbei enden die Expansionen in diesen Strömungsmaschinen häufig in einem Zweiphasengebiet des Wasserdampfes, was zu hohen Erosionsbelastungen der rotierenden sowie der angrenzenden stationären Komponenten führt.

[0010] In Strömungsmaschinen, wie z. B. bei Dampfturbinen, werden vor allem im Niederdruckbereich freistehende Niederdruckschaufeln verwendet. Konstruktiv bedingt weisen solche Strömungsmaschinen einen vergleichsweise großen Radialspalt zwischen der Schaufelspitze und dem Gehäuse auf. Damit die Verluste den-

noch nicht zu groß werden, ist es bekannt, an dem der Schaufelspitze gegenüberliegenden Gehäuse abrasive Schichten anzuordnen. Bei Berührung zwischen der Schaufelspitze und dem Gehäuse wird lediglich die abrasive Schicht leicht abgetragen, wodurch ein vergleichsweise geringer Radialspalt erzeugt wird.

[0011] Grundsätzlich werden die Radialspiele unter Beachtung der Grundlagen der Mechanik (radiale Längung der Schaufel unter Fliehkraft- und Temperatureinfluss) in erster Linie durch passive konstruktive Maßnahmen minimiert. Neben der Minimierung von Gehäuseovalisierungen und Wellenschwingungen kommen z.B. zylindrisch abgelängte Schaufeln zum Einsatz, welche axiale Differenzdehnungseinflüsse minimieren.

[0012] Auf der aktiven Seite kommen bei Rotoren für konisch abgelängte Schaufeln (hydro-) mechanische Vorrichtungen zur Axialpositionsbeeinflussung des Rotors zum Einsatz.

[0013] In Gehäusen findet man sowohl aktive als auch semi-passive und passive Lösungen zur Radialspielbeeinflussung.

[0014] Zu den aktiven Lösungen zählen die "Retractable Sealing Segements", die erst bei ausgebildeter Strömung schließen und das Radialspiel bei Nenndrehzahl reduzieren. Im Überbrückungsfall lassen Federkonstruktionen in Umfangsrichtung ein Aufweiten der Gehäusegeometrie zu.

[0015] Ähnlich funktionieren die semi-passiven "Federnden Dichtsegmente", bei denen Federkonstruktionen in Radialrichtung ein Aufweiten der Gehäusegeometrie zulassen.

[0016] Zu den passiven Lösungen zählen anstreiftolerante Ein-/Anbauteile und Komponenten sowie abrasive Beschichtungen.

[0017] Auf der gegenüberliegenden Gehäusesseite findet man häufig anstreiftolerante abrasive Beschichtungen.

[0018] In tropfenbeladenen Strömungen versagen diese Funktionsbeschichtungen jedoch, da sie funktionsgemäß keine hohen mechanischen Kräfte, wie z. B. verursacht durch Tropfenschlagerosion, ertragen können.

[0019] Abhilfe versprechen sogenannte Honeycomb-Seal-Segments, welche anisotrope Anstreifeigenschaften aufweisen und in die Gehäusewand eingelassen werden können. Problematisch ist hier im praktischen Einsatz, dass sich die entstehenden Hohlstrukturen mit Feststoffpartikeln, welche im Arbeitsmedium vorhanden sind, füllen können und dann ihre positiven anisotropen Eigenschaften verlieren.

[0020] Gelegentlich finden sich auch bei freistehenden Laufschaufeln auf der gegenüberliegenden Gehäusesseite dichtspitzenartige Konstruktionen, welche ebenfalls die Aufgabe einer Spaltverlustreduktion haben.

[0021] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Schaufel für eine Strömungsmaschine anzugeben, die in einer Strömungsmaschine eingesetzt werden kann und im Betrieb zu geringen Spaltverlusten führt.

[0022] Gelöst wird diese Aufgabe durch eine Schaufel

für eine Strömungsmaschine, wobei die Schaufel entlang einer Radialrichtung ausgebildet ist und eine Schaufelspitze sowie ein Schaufelquerschnittsprofil mit einer Druck- und einer Saugseite aufweist, wobei die Schaufel eine Schaufelspitzenoberfläche aufweist, die im Betrieb einer Gehäuseinnenwand gegenüberliegt, wobei die Schaufelspitzenoberfläche eine Anstreifschicht aufweist, wobei die Anstreifschicht derart ausgebildet ist, dass im Betrieb bei einem Kontakt mit der Gehäuseinnenwand eine Abtragung der Anstreifschicht erfolgt.

[0023] Mit der Erfindung wird somit der Weg eingeschlagen, eine Anstreifschicht auf die Schaufelspitze aufzutragen. Dabei ist die Anstreifschicht derart ausgebildet, dass im Falle einer Berührung der Anstreifschicht mit dem Gehäuse derart ist, dass die Anstreifschicht abrasiv oder abradierbar ist, d.h. dass durch Materialabtragung der Anstreifschicht der Radialspalt optimiert wird.

[0024] Die einzelnen Materialstücke, die durch die abrasive Wirkung entstehen und im Betrieb in der Strömungsmaschine verbleiben, sind so gestaltet, dass diese keine Schäden in der Strömungsmaschine hervorrufen. Dazu sind die einzelnen Materialstücke vergleichsweise klein, was durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Anstreifschicht gelingt.

[0025] Die erfindungsgemäße Lösung ist ein neuer Weg, da bisher die Gehäuseinnenwand bei Bedarf mit einer abrasiven Schicht ausgebildet wurde, da hier Rest-Ovalitäten der Gehäusekontur bei niedrigen Kosten ausgeglichen werden können.

[0026] Im Vergleich zu einer Beschichtung des stationären Teils hat die Beschichtung der Schaufel in folgender Situation Vorteile: Bei auftretenden Varianzen in der radialen Länge der Schaufeln und/oder Ovalität des Gehäuses wird im Anstreiffall nur die Schicht der längsten Schaufel abrasiv abgetragen. Die Spalte der übrigen Schaufeln bleiben unverändert.

[0027] Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0028] So wird in einer ersten vorteilhaften Weiterbildung die Anstreifschicht mit einem Schmierstoff versehen.

[0029] Der Schmierstoff weist hierbei abrasive Eigenschaften auf. Das bedeutet, dass bei einer Berührung der Anstreifschicht mit einer Gehäuseinnenwand es zu einer Materialabtragung der Anstreifschicht kommt, wobei die Materialeigenschaft der Anstreifschicht derart ist, dass die einzelnen Materialstücke genügend klein sind, so dass die Gefahr eines Schadens durch ein umherfliegendes abgetragenes Materialstück minimiert ist.

[0030] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung umfasst der Schmierstoff Graphit und / oder hexagonales Bornitrid.

[0031] Gerade Graphit und / oder hexagonales Bornitrid weisen Materialeigenschaften auf, die für die Anwendung als abrasive Schicht bzw. als Bestandteil abrasiver Schichten in einer Strömungsmaschine ideal sind. Die Kristallstruktur und Bindungskräfte in Graphit und / oder hexagonalem Bornitrid sind derart, dass es zu einer Ma-

terialabtragung der Anstreifschicht kommen kann, bei der die einzelnen abgetragenen Materialstücke hinreichend klein sind.

[0032] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung ist das Schaufelquerschnittsprofil mit einer Skelettlinie beschreibbar, wobei die Anstreifschicht entlang der Skelettlinie angeordnet ist.

[0033] In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung weist die Schaufel eine Anströmkante und eine Abströmkante auf, wobei die Anstreifschicht von der Anströmkante bis zur Abströmkante angeordnet ist.

[0034] In einer vorteilhaften Weiterbildung weist die Skelettlinie eine Länge D auf und die Anstreifschicht ist nur in einem Bereich vor der Abströmkante angeordnet, wobei gilt: $d = (0,4 \text{ bis } 0,9) \times D$, wobei d die Länge der Anstreifschicht entlang der Skelettlinie bis zur Abströmkante ist.

[0035] Mit dieser vorteilhaften Weiterbildung wird somit vorgeschlagen, nicht die gesamte Schaufelblattoberfläche mit der Anstreifschicht zu versehen, sondern im Grunde lediglich nur den Bereich vor der Abströmkante.

[0036] In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung weist die Anstreifschicht eine Anstreifschichtoberfläche auf, wobei auf der Anstreifschichtoberfläche Kerben angeordnet sind.

[0037] Mit dieser Maßnahme wird erreicht, dass bei der Materialabtragung durch die Berührung mit der Gehäuseinnenwand die einzelnen abgetragenen Materialstücke nicht zu groß werden. Die Kerben wirken im Grunde wie eine Sollbruchstelle und führen zu einer Abtragung eines Materialstückes bis zu einer Kerbe, die dadurch mit anderen Worten als Grenze bezeichnet werden kann, bis zu der ein Abplatzen der Anstreifschicht möglich ist.

[0038] Die Anstreifschicht wird mit anderen Worten normal zur Skelettlinie des Schaufelspitzenprofils segmentiert. Dadurch werden etwaige Abplatzungen, Teilverluste oder Abtragungen begrenzt. Die Segmentierung lässt sich dabei sowohl spanend herstellen als auch schon während des Beschichtungsprozesses selbst herstellen.

[0039] Vorteilhafterweise sind die Kerben im Wesentlichen senkrecht zur Skelettlinie ausgebildet.

[0040] Ebenso sind die Kerben in vorteilhafter Weise in äquidistanten Abständen zueinander ausgebildet.

[0041] In einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Anstreifschicht von der Druckseite bis zur Saugseite durchgängig ausgebildet.

[0042] In einer vorteilhaften Weiterbildung ist die Anstreifschicht derart ausgebildet ist, dass ein im Betrieb auftretendes Anstreifen mit einer Gehäuseinnenwand zu einem Abtragen der Anstreifschicht führt, wobei dadurch eine durch Abtragung entstandene Kontaktfläche entsteht, wobei die Kontaktfläche durch weiteren Abtrieb in Radialrichtung zum Schaufelfuß hin breiter wird.

[0043] Mit dieser Maßnahme wird ein Anfangsvorgang ermöglicht, bei dem sich die Anstreifschicht quasi einreißt. Das bedeutet, dass eine Kontaktfläche zwischen

Anstreifschicht und Gehäuseinnenwand bei weiteren Kontakten zwischen Anstreifschicht und Gehäuseinnenwand immer größer wird.

[0044] Dazu wird vorteilhafterweise die Anstreifschicht derart auf der Schaufelspitzenoberfläche ausgebildet, dass die Anstreifschicht im Querschnitt gesehen, eine Spitze unter einem stumpfen Winkel darstellt.

[0045] Mit anderen Worten, die Anstreifschicht ist wie eine stumpfe Spitze auf die Gehäuseinnenwand gerichtet. Im Falle eines Abstreifens der Anstreifschicht an der Gehäuseinnenwand wird zunächst die Spitze abgetragen. Bei einem zunehmenden Kontakt wird dabei die Kontaktfläche immer breiter.

[0046] In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung weist die Anstreifschicht einen Schlitz auf, der derart angeordnet ist, dass ein Abtragen der Anstreifschicht zu einer messbaren Länge L des Schlitzes führt und über die Länge L eine Höhe der Schicht ermittelbar ist.

[0047] Mit diesem Schlitz ist somit ein Indikator gegeben, mit dem leicht herausgefunden werden kann, wie weit die Anstreifschicht abgetragen wurde, bzw. wie dick die Anstreifschicht ist.

[0048] Der Schlitz kann sowohl über die gesamte Breite der Anstreifschicht als auch über einen Teil der Breite der Anstreifschicht eingebracht werden.

[0049] In einer vorteilhaften Weiterbildung werden mehrere Schlitz pro Schaufel in die Anstreifschicht angeordnet.

[0050] Der Schlitz wird dabei von der Kante an der Schaufeloberfläche der Saug- oder Druckseite bis zur Spitze eingearbeitet. Wenn im Betrieb die Spitze abgetragen wird, ist bei der Draufsicht auf die Anstreifschicht eine Schlitzlänge in der Ebene messbar, mit der über geometrische Eigenschaften und trigonometrischen Überlegungen die Dicke der Anstreifschicht berechnet werden kann.

[0051] Die Schlitz können die Funktion der Kerben übernehmen und ebenfalls als Sollbruchstelle dienen. Somit können die Bruchstückgrößen durch die Schlitz begrenzt werden.

[0052] Die auf das Verfahren hin gerichtete Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung einer Anstreifschicht auf einer Schaufeloberfläche, wobei die Anstreifschicht mittels eines thermischen Spritzbeschichtungsverfahrens, wie z.B. APS oder HVOF auf die Schaufelspitze aufgebracht wird, wobei die Anstreifschicht mit einem Schmierstoff, wie z.B. Graphit und / oder hexagonales Bornitrid versehen wird.

[0053] Vorteilhafterweise wird ein Polymer der Anstreifschicht zur Erzeugung einer porösen Struktur der Anstreifschicht hinzugegeben.

[0054] In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung wird vor der Aufbringung der Anstreifschicht auf die Schaufel eine erste Wärmebehandlung durchgeführt, bei der die Schaufel gehärtet wird, wobei nach der ersten Wärmebehandlung die Anstreifschicht aufgebracht wird, wobei nach der Aufbringung der Anstreifschicht eine zweite Wärmebehandlung bei einer Temperatur durch-

geführt wird, bei der die Schaufel spannungsarmgeglüht wird, wobei die Temperatur derart gewählt ist, dass das Polymer in der aufgespritzten Anstreifschicht schmilzt und dadurch eine poröse Struktur der Anstreifschicht hervorruft.

[0055] Mit diesem vorteilhaften Verfahren wird erreicht, dass das Polymer bei der zweiten Wärmebehandlung schmilzt und aus der Anstreifschicht entfernt wird, wodurch in einer einfachen und kostengünstigen Variante die Anstreifschicht eine poröse Struktur erhält.

[0056] In einer vorteilhaften Weiterbildung werden auf die Anstreifschicht Kerben aufgebracht, die entlang der Skelettlinie angeordnet werden, wobei die Kerben während des Beschichtungsprozesses oder nach dem Beschichtungsprozess mit einem spanenden Verfahren, wie z.B. Fräsen hergestellt werden.

[0057] Im Folgenden ist die Erfindung anhand spezieller Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf Zeichnungen näher erläutert.

[0058] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden.

[0059] Gleiche Bauteile oder Bauteile mit gleicher Funktion sind dabei mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet. Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen beschrieben. Diese sollen die Ausführungsbeispiele nicht maßstäblich darstellen, vielmehr ist die Zeichnung, wo zur Erläuterung dienlich, in schematisierter und/oder leicht verzerrter Form ausgeführt. Im Hinblick auf Ergänzungen der in der Zeichnung unmittelbar erkennbaren Lehren wird auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen.

[0060] Darin zeigen:

Figur 1 eine perspektivische Darstellung einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel,

Figur 2 eine vergrößerte Darstellung eines Details der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel,

Figur 3 eine Draufsicht auf eine Schaufeloberfläche der erfindungsgemäßen Schaufel

Figur 4 eine Draufsicht auf eine Schaufeloberfläche der erfindungsgemäßen Schaufel

Figur 5 eine schematische Darstellung der Schaufelspitze der erfindungsgemäßen Schaufel

Figur 6 eine schematische Darstellung eines Details der erfindungsgemäßen Schaufel

[0061] In der Figur 1 ist eine Schaufel 1 in perspektivischer Darstellung zu sehen. Die Schaufel 1 weist einen Schaufelfuß 2 auf, der zum Befestigen in einem nicht

dargestellten Rotor geeignet ist. Der Schaufelfuß 2 weist hierbei eine so genannte Tannenbaumfußform auf. Es sind noch weitere Ausführungsformen für den Schaufelfuß 2 bekannt, wie z. B. Steck- und Reiterfüße, Lavalfuß, Hakenfuß- oder T-Fuß-Ausführungen. Solche Schaufeln 1 können in Strömungsmaschinen, wie z. B. Dampfturbinen, Gasturbinen oder Verdichtern eingesetzt werden. Die Schaufel 1 ist entlang einer Radialrichtung 3 ausgebildet und weist eine Schaufelspitze 4 sowie ein Schaufelprofil mit einer Druckseite 5 und einer Saugseite 6 auf.

[0062] Die Schaufel 1 weist entlang der Radialrichtung 3 unterschiedlich ausgebildete Schaufelquerschnittsprofile auf.

[0063] Die Figur 2 zeigt in einer vergrößerten Darstellung die Schaufelspitze 4 der Schaufel 1. Dabei weist die Schaufelspitze 4 eine Schaufelspitzenoberfläche 7, die im Betrieb einer Gehäuseinnenwand (nicht dargestellt) gegenüberliegt.

[0064] Die Schaufelspitzenoberfläche 7 ist unter einem Winkel gegenüber der Radialrichtung 3 geneigt, wobei die Schaufelspitzenoberflächen 7 dadurch im Wesentlichen parallel zur Gehäuseinnenwand ausgebildet ist.

[0065] Auf der Schaufelspitzenoberfläche 7 ist eine Anstreifschicht 8 angeordnet. Die Anstreifschicht 8 ist hierbei im Wesentlichen zur weiteren Verbesserung der Spaltverluste auf der Schaufelspitzenoberfläche 7 aufgebracht. Dabei ist die Anstreifschicht 8 als eine abrasive Verschleißschicht ausgebildet, bei der bei einem Kontakt mit dem Innengehäuse die Gefahr eines Schadens minimiert ist. Die Anstreifschicht 8 ist somit derart ausgebildet, dass im Betrieb bei einem Kontakt mit der Gehäuseinnenwand eine Abtragung der Anstreifschicht 8 erfolgt.

[0066] Um eine Abtragung der Anstreifschicht 8 zu ermöglichen, ist die Anstreifschicht 8 aus einem Schmierstoff hergestellt. Dabei umfasst der Schmierstoff Graphit und / oder hexagonales Bornitrid.

[0067] Um die abrasive Eigenschaft der Anstreifschicht 8 zu verbessern und um eine Abtragung der Anstreifschicht 8 zu ermöglichen, ist die Anstreifschicht 8 porös ausgebildet. Das bedeutet, dass in der Anstreifschicht 8 vergleichsweise viele kleine Hohlräume ausgebildet sind.

[0068] Die Hohlräume, durch die eine Porosität der Anstreifschicht 8 entsteht, werden wie nachfolgend beschrieben hergestellt.

[0069] In einem ersten Schritt wird ein Verfahren zur Herstellung der Anstreifschicht 8 auf eine Schaufeloberfläche 7 durchgeführt. Dabei wird die Anstreifschicht 8 mittels eines thermischen Spritzbeschichtungsverfahrens, wie z.B. APS oder HVOF auf die Schaufelspitzenoberfläche 7 aufgebracht, wobei die Anstreifschicht 8 mit einem Schmierstoff, wie z.B. Graphit und / oder hexagonales Bornitrid versehen wird.

[0070] Des Weiteren wird ein Polymer der Anstreifschicht 8 zur Erzeugung der porösen Struktur der Anstreifschicht 8 hinzugegeben.

[0071] In einem nächsten Schritt wird vor der Aufbringung der Anstreifschicht 8 eine erste Wärmebehandlung durchgeführt, bei der die Schaufel 1 gehärtet wird.

[0072] Nach der ersten Wärmebehandlung wird die Anstreifschicht 8 aufgebracht, wobei nach der Aufbringung der Anstreifschicht 8 eine zweite Wärmebehandlung bei einer Temperatur durchgeführt wird, bei der die Schaufel 1 spannungsarmgeglüht wird. Die Temperatur wird dabei derart gewählt, dass das Polymer in der aufgespritzten Anstreifschicht 8 schmilzt. Dadurch entstehen in der Anstreifschicht 8 kleine Hohlräume, die schließlich zu einer porösen Struktur der Anstreifschicht 8 führen.

[0073] Die Schaufel 1 kann aus Stahl, Titan oder auch Verbundwerkstoffen hergestellt sein.

[0074] Die Figur 4 zeigt eine Ansicht der Schaufelspitze 4 in Richtung Anströmkante 9.

[0075] Das Schaufelquerschnittsprofil der Schaufel 1 ist mit einer Skelettlinie beschreibbar, was im Strömungsmaschinenbau gängige Praxis ist. Die Anstreifschicht 8 wird dabei entlang der Skelettlinie angeordnet. In einer ersten Ausführungsform bedeckt die Anstreifschicht 8 demnach die gesamte Schaufelspitzenoberfläche 7.

[0076] Die Schaufel 1 weist des Weiteren eine Anströmkante 9 und eine Abströmkante 10 auf, wobei die Anstreifschicht 8 von der Anströmkante 9 bis zur Abströmkante 10 in der ersten Ausführungsform angeordnet ist.

[0077] In einer weiteren alternativen Ausführungsform beträgt die Länge der Skelettlinie D, wobei die Anstreifschicht 8 lediglich in einem Bereich vor der Abströmkante 10 angeordnet ist, wobei gilt: $d = (0,4 \text{ bis } 0,9) \times D$, wobei d die Länge der Anstreifschicht 8 entlang der Skelettlinie bis zur Abströmkante 10 ist.

[0078] Somit muss in dieser alternativen Ausführungsform nicht die ganze Schaufel 1 mit der Anstreifschicht 8 ausgebildet werden, sondern lediglich ein Bereich vor der Abströmkante 10.

[0079] Die Anstreifschicht 8 weist eine Anstreifschichtoberfläche 11 auf, wobei auf der Anstreifschichtoberfläche 11 Kerben 12 angeordnet sind.

[0080] Die Kerben 12 werden hierbei auf der Anstreifschichtoberfläche 11 derart angebracht, dass im Betrieb ein Wegplatzen der Anstreifschicht 8 nur zu einem Wegplatzen eines zwischen zwei Kerben 12 angeordnetem Segmentes 13 führt. Die Kerben 12 können demnach als Sollbruchstellen betrachtet werden, an deren Stellen ein Brechen der Anstreifschicht 8 beabsichtigt ist, für den Fall, dass Betriebsbedingungen vorkommen, die dazu führen, dass die Anstreifschicht 8 materialabtragenden Bedingungen unterliegt.

[0081] Die Kerben 12 sind hierbei im Wesentlichen senkrecht zur Skelettlinie ausgebildet, was den Fertigungsaufwand verringert. Des Weiteren sind die Kerben 12 in äquidistanten Abständen entlang der Skelettlinie angeordnet.

[0082] Die Kerben 12 werden während des Beschichtungsprozesses oder nach dem Beschichtungsprozess

mit einem spanenden Verfahren, wie z.B. Fräsen, hergestellt.

[0083] Bei der Herstellung der Anstreifschicht 8 auf die Schaufelspitzenoberfläche 7 wird die Anstreifschicht 8 von der Druckseite 5 bis zur Saugseite 6 durchgängig ausgebildet.

[0084] Die Anstreifschicht 8 ist derart ausgebildet, dass ein im Betrieb auftretendes Anstreifen mit einer Gehäuseinnenwand zu einem Abtragen der Anstreifschicht 8 führt, wobei dadurch eine durch Abtragung entstandene Kontaktfläche (nicht dargestellt) entsteht, wobei die Kontaktfläche durch weiteren Abtrieb in Radialrichtung 3 zum Schaufelfuß 2 hin breiter wird.

[0085] Dazu ist die Anstreifschicht 8 derart auf der Schaufelspitzenoberfläche 7 ausgebildet, dass die Anstreifschicht 8 im Querschnitt gesehen, eine Spitze 14 unter einem stumpfen Winkel darstellt.

[0086] Um den Zustand der Anstreifschicht 8 ermitteln zu können, wird die Anstreifschicht 8 mit einem Abrasionsindikator 15 ausgebildet. Dazu weist die Anstreifschicht 8 einen Schlitz 16 auf, der derart angeordnet ist, dass ein Abtragen der Anstreifschicht 8 zu einer messbaren Länge L des Schlitzes führt und über die Länge L eine Höhe der Anstreifschicht 8 ermittelbar ist.

[0087] Der Schlitz 16 wird hierzu von der Kante an der Druckseite 5 bis zur Spitze 14 eingebracht, was in der Figur 3 dargestellt ist. In der Figur 2 ist eine seitliche Darstellung des Abrasionsindikators 15 zu sehen.

[0088] Im Betrieb kann die Anstreifschicht 8 abgetragen werden, so dass die Kontaktfläche, die in der Figur 2 mit einem Strich 17 dargestellt ist, immer breiter wird. Dieser Strich 17 ist im Wesentlichen parallel zur Schaufelspitzenoberfläche 7 angeordnet.

[0089] In diesem Zustand ist ein messbarer Schlitz 16 der Länge L sichtbar. Durch die Bestimmung von L kann somit durch einfache trigonometrische Geometrieüberlegungen eine Höhe H der Anstreifschicht 8 ermittelt werden. Daher ist sozusagen mit bloßem Blick auf die Länge L des Schlitzes 16 möglich, auf den Zustand der Anstreifschicht 8 zu schließen.

[0090] In den Figuren 5 und 6 wird der Abrasionsindikator 15 in schematischer Weise näher dargestellt, wobei die Figur 6 eine Schnittdarstellung der Figur 5 entlang der Linie 17 zeigt.

[0091] Bevorzugter Weise kommen die gekrümmten Schaufelspitzen 4 in Niederdruck-Endstufenschaufeln in Niederdruckdampfturbinen zum Einsatz. Die Umfangsgeschwindigkeit der Schaufelspitze 4 kann hierbei bei Werten von größer Mach 1 liegen. Dadurch ist ein Einsatz im aerodynamischen Bereich subsonischer, transsonischer und supersonischer Strömungen möglich.

[0092] Die obigen Merkmale einer Schaufel 1 können innerhalb einer Schaufelreihe in einer Strömungsmaschine variiert werden.

[0093] Die Schaufel 1 wird in einer Nassdampfströmung eingesetzt.

[0094] Außerdem können die obigen Merkmale von Schaufelreihe zu Schaufelreihe und von Turbinenflut zu

Turbinenflut in Abhängigkeit der Maschinenkonstruktion und der betrieblichen Anforderungen variiert werden.

[0095] Die Erfindung lässt sich mit einem berührungslosen Schaufelschwingungsmesssystem kombinieren, da der Abstand der Schaufelspitze 4 vom Messgeber durch die Anstreifschicht 8 minimiert werden kann.

Patentansprüche

1. Schaufel (1) für eine Strömungsmaschine,

wobei die Schaufel (1) entlang einer Radialrichtung (3) ausgebildet ist und eine Schaufelspitze (4) sowie ein Schaufelquerschnittsprofil mit einer Druck- (5) und einer Saugseite (6) aufweist, wobei die Schaufel (1) eine Schaufelspitzenoberfläche (7) aufweist, die im Betrieb einer Gehäuseinnenwand gegenüberliegt, wobei die Schaufelspitzenoberfläche (7) eine Anstreifschicht (8) aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Anstreifschicht (8) derart ausgebildet ist, dass im Betrieb bei einem Kontakt mit der Gehäuseinnenwand eine Abtragung der Anstreifschicht (8) erfolgt.

2. Schaufel (1) nach Anspruch 1,

wobei die Anstreifschicht (8) mit einem Schmierstoff versehen ist.

3. Schaufel (1) nach Anspruch 2,

wobei der Schmierstoff Graphit und / oder hexagonales Bornitrid umfasst.

4. Schaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Schaufelquerschnittsprofil mit einer Skelettlinie beschreibbar ist, wobei die Anstreifschicht (8) entlang der Skelettlinie angeordnet ist.

5. Schaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Schaufel (1) eine Anströmkante (9) und eine Abströmkante (10) aufweist, wobei die Anstreifschicht (8) von der Anströmkante (9) bis zur Abströmkante (10) angeordnet ist.

6. Schaufel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Länge der Skelettlinie D beträgt und die Anstreifschicht (8) nur in einem Bereich vor der Abströmkante (10) angeordnet ist, wobei gilt: $d = (0,4 \text{ bis } 0,9) \times D$, wobei d die Länge der Anstreifschicht (8) entlang der Skelettlinie bis zur Abströmkante (10) ist.

7. Schaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anstreifschicht (8) eine Anstreifschichtoberfläche (11) aufweist, wobei auf der An-

- streifschichtoberfläche (11) Kerben (12) angeordnet sind.
8. Schaufel (1) nach Anspruch 7, wobei die Kerben (12) im Wesentlichen senkrecht zur Skelettlinie ausgebildet sind. 5
9. Schaufel (1) nach Anspruch 7, wobei die Abstände der Kerben (12) zueinander äquidistant ist. 10
10. Schaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anstreifschicht (8) von der Druckseite (5) bis zur Saugseite (6) durchgängig ausgebildet ist. 15
11. Schaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anstreifschicht (8) derart ausgebildet ist, dass ein im Betrieb auftretendes Anstreifen mit einer Gehäuseinnenwand zu einem Abtragen der Anstreifschicht (8) führt, wobei dadurch eine durch Abtragung entstandene Kontaktfläche entsteht, wobei die Kontaktfläche durch weiteren Abtrieb in Radialrichtung (3) zum Schaufelfuß (2) hin breiter wird. 20 25
12. Schaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anstreifschicht (8) derart auf der Schaufelspitzenoberfläche (7) ausgebildet ist, dass die Anstreifschicht (8) im Querschnitt gesehen einen Spitze (14) unter einem stumpfen Winkel darstellt. 30
13. Schaufel (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Anstreifschicht (8) einen Schlitz (16) aufweist, der derart angeordnet ist, dass ein Abtragen der Anstreifschicht (8) zu einer messbaren Länge L des Schlitzes (16) führt und über die die Länge L eine Höhe der Anstreifschicht (8) ermittelbar ist. 35 40
14. Verfahren zur Herstellung einer Anstreifschicht (8) auf eine Schaufelspitzenoberfläche (7), wobei die Anstreifschicht (8) mittels eines thermischen Spritzbeschichtungsverfahrens, wie z.B. APS oder HVOF auf die Schaufelspitzenoberfläche (7) aufgebracht wird, wobei die Anstreifschicht (8) mit einem Schmierstoff, wie z.B. Graphit und / oder hexagonales Bornitrid versehen wird. 45
15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei ein Polymer der Anstreifschicht (8) zur Erzeugung einer porösen Struktur der Anstreifschicht (8) hinzugegeben wird. 50
16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, wobei die Schaufel (1) vor der Aufbringung der Anstreifschicht (8) einer ersten Wärmebehandlung durchgeführt wird, bei der die Schaufel (1) gehärtet wird, wobei nach der ersten Wärmebehandlung die Anstreifschicht (8) aufgebracht wird, wobei nach der Aufbringung der Anstreifschicht (8) eine zweite Wärmebehandlung bei einer Temperatur durchgeführt wird, bei der die Schaufel (1) spannungsarmgeglüht wird, wobei die Temperatur derart gewählt ist, dass das Polymer in der aufgespritzten Anstreifschicht (8) schmilzt und dadurch eine poröse Struktur der Anstreifschicht (8) hervorruft. 55
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, wobei auf die Anstreifschicht (8) Kerben (12) aufgebracht werden, die entlang der Skelettlinie angeordnet werden, wobei die Kerben (12) während des Beschichtungsprozesses oder nach dem Beschichtungsprozess mit einem spanenden Verfahren, wie z.B. Fräsen hergestellt werden.

FIG 1

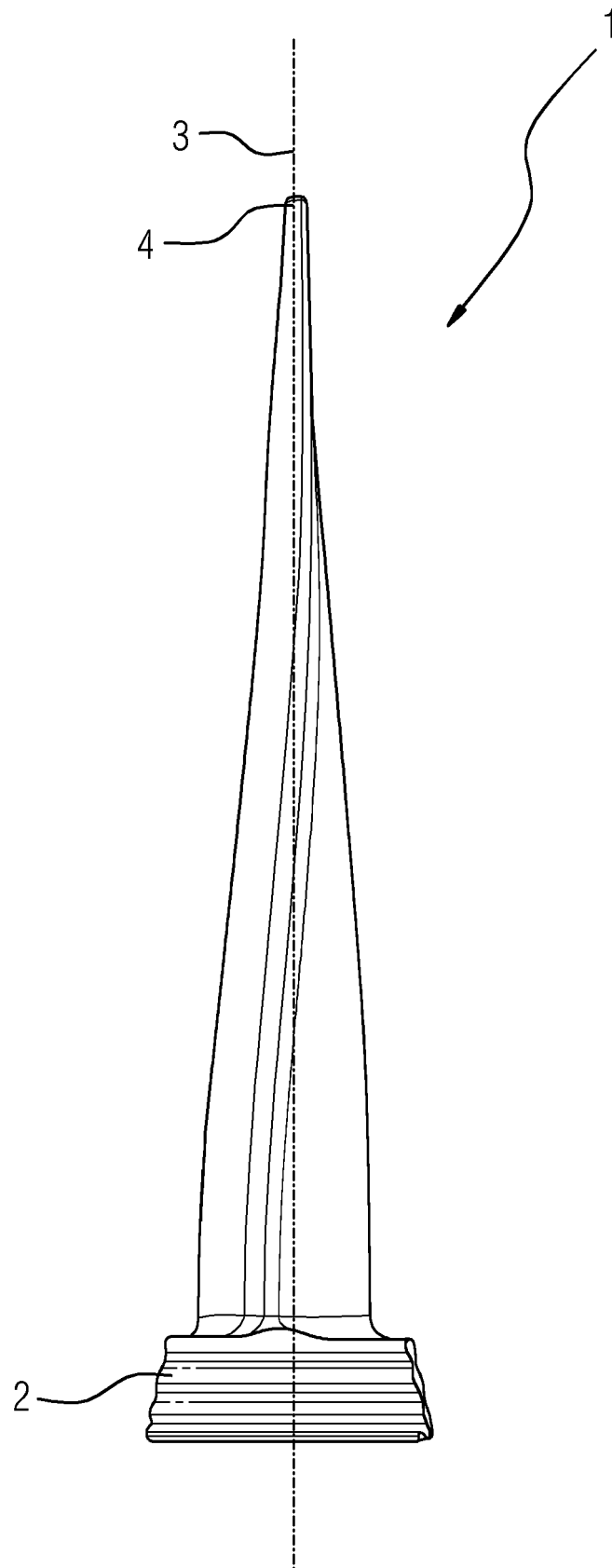


FIG 2

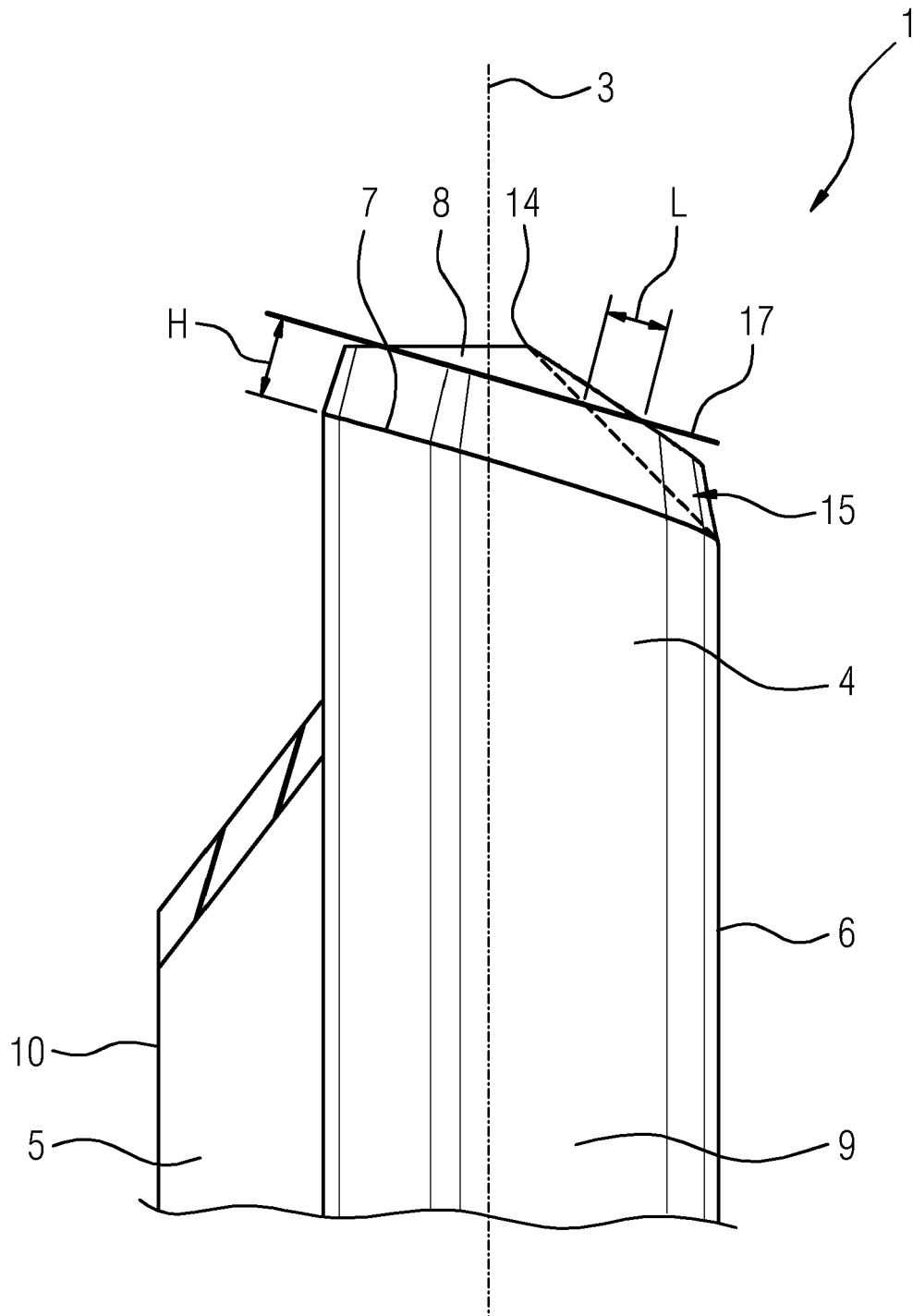


FIG 3

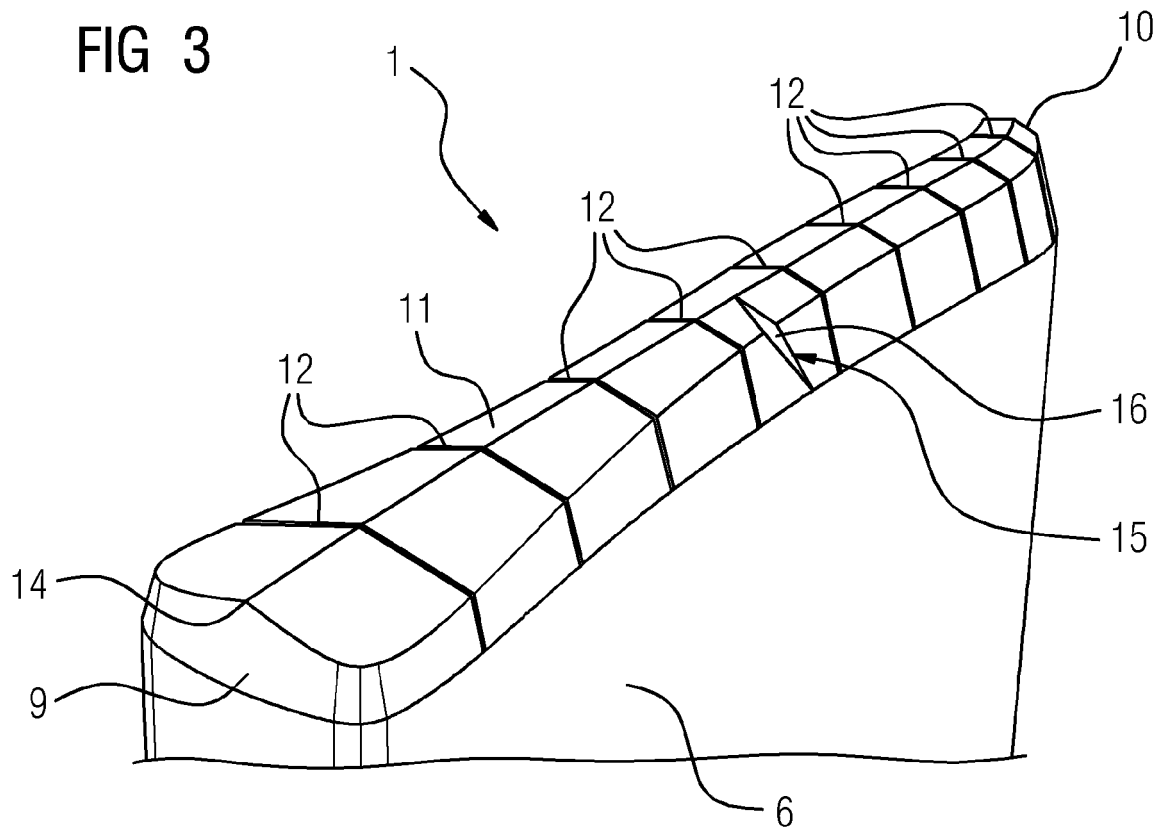


FIG 4

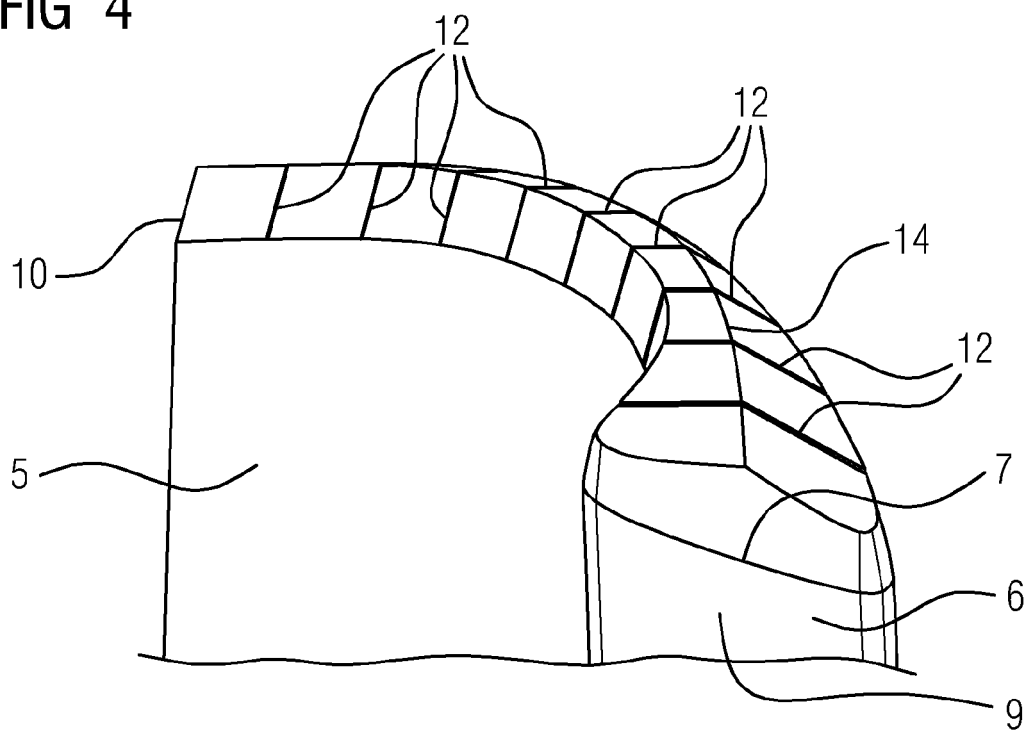


FIG 5

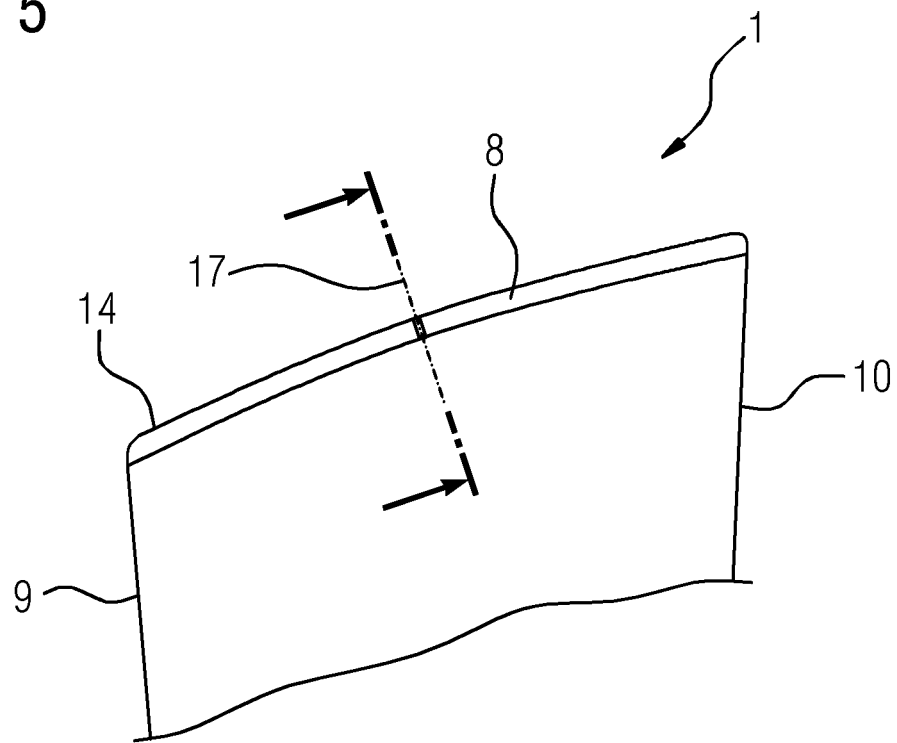
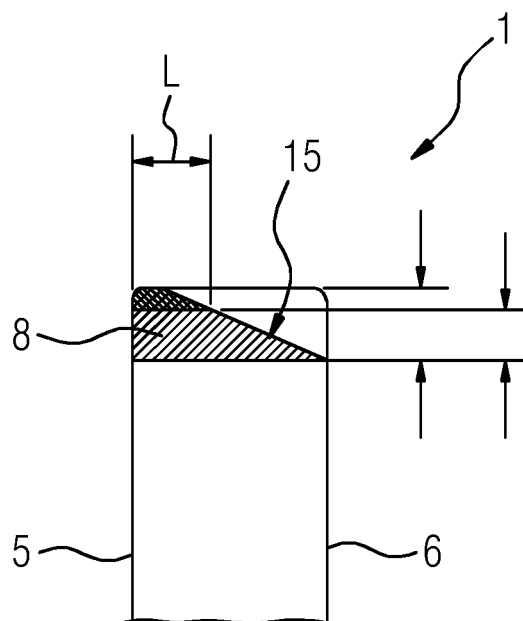


FIG 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 21 20 3824

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	DE 698 26 096 T2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 29. September 2005 (2005-09-29)	1, 4, 5, 10	INV. F01D11/12
Y	* Absatz [0021]; Abbildungen 2, 3 *	2, 3, 14-16	ADD. F01D5/20
A		7-9, 13, 17	
X	US 2019/309759 A1 (WALKER THOMAS [JP] ET AL) 10. Oktober 2019 (2019-10-10)	1, 6, 10-12	
Y	* Absatz [0096]; Abbildungen 2, 11, 12c, 12d *	2, 3, 14-16	
A		7-9, 13, 17	
X	US 9 845 685 B2 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]) 19. Dezember 2017 (2017-12-19)	1-3, 6	
	* Abbildung 1 *		
	* Spalte 2, Zeile 55 - Zeile 60 *		
	* Spalte 5, Zeile 14 - Zeile 23 *		
Y	US 5 434 210 A (RANGASWAMY SUBRAMANIAM [US] ET AL) 18. Juli 1995 (1995-07-18)	2, 3, 14-16	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	* Abbildung 2 *	17	F01D
	* Spalte 1, Zeile 13 - Zeile 18 *		
	* Spalte 4, Zeile 20 - Zeile 21 *		
	* Spalte 4, Zeile 27 - Zeile 42 *		
	* Spalte 4, Zeile 56 - Zeile 58 *		
Y	US 2020/277871 A1 (SHI JUN [US] ET AL) 3. September 2020 (2020-09-03)	2, 3, 14-16	
A	* Absätze [0037], [0038] *	17	
1 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 11. März 2022	Prüfer Rolé, Florian
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 : nichtschriftliche 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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 21 20 3824

5 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.

11-03-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
15	DE 69826096	T2	29-09-2005	CA	2252658 A1	26-05-1999
				CN	1221067 A	30-06-1999
				DE	69826096 T2	29-09-2005
				EP	0919699 A2	02-06-1999
				JP	4322980 B2	02-09-2009
				JP	H11229810 A	24-08-1999
				KR	19990045567 A	25-06-1999
				RU	2229031 C2	20-05-2004
				SG	71165 A1	21-03-2000
				TW	411304 B	11-11-2000
				UA	61908 C2	15-12-2003
				US	6190124 B1	20-02-2001
25	US 2019309759	A1	10-10-2019	CN	109964044 A	02-07-2019
				EP	3543541 A1	25-09-2019
				JP	6854296 B2	07-04-2021
				JP	WO2018092875 A1	17-10-2019
				US	2019309759 A1	10-10-2019
				WO	2018092875 A1	24-05-2018
30	US 9845685	B2	19-12-2017	EP	2647798 A1	09-10-2013
				EP	2947275 A1	25-11-2015
				ES	2552474 T3	30-11-2015
				US	2013343900 A1	26-12-2013
35	US 5434210	A	18-07-1995	DE	69110416 T2	12-10-1995
				EP	0487273 A1	27-05-1992
				US	5196471 A	23-03-1993
				US	5434210 A	18-07-1995
40	US 2020277871	A1	03-09-2020	KEINE		

EPO FORM P0461

EPO FORM P0461

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