

(19)



(11)

EP 2 128 387 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

02.12.2009 Patentblatt 2009/49

(51) Int Cl.:

F01D 5/28 (2006.01)(21) Anmeldenummer: **09161201.0**(22) Anmeldetag: **27.05.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**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 SE SI SK TR**

(30) Priorität: **30.05.2008 DE 102008026036**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)**

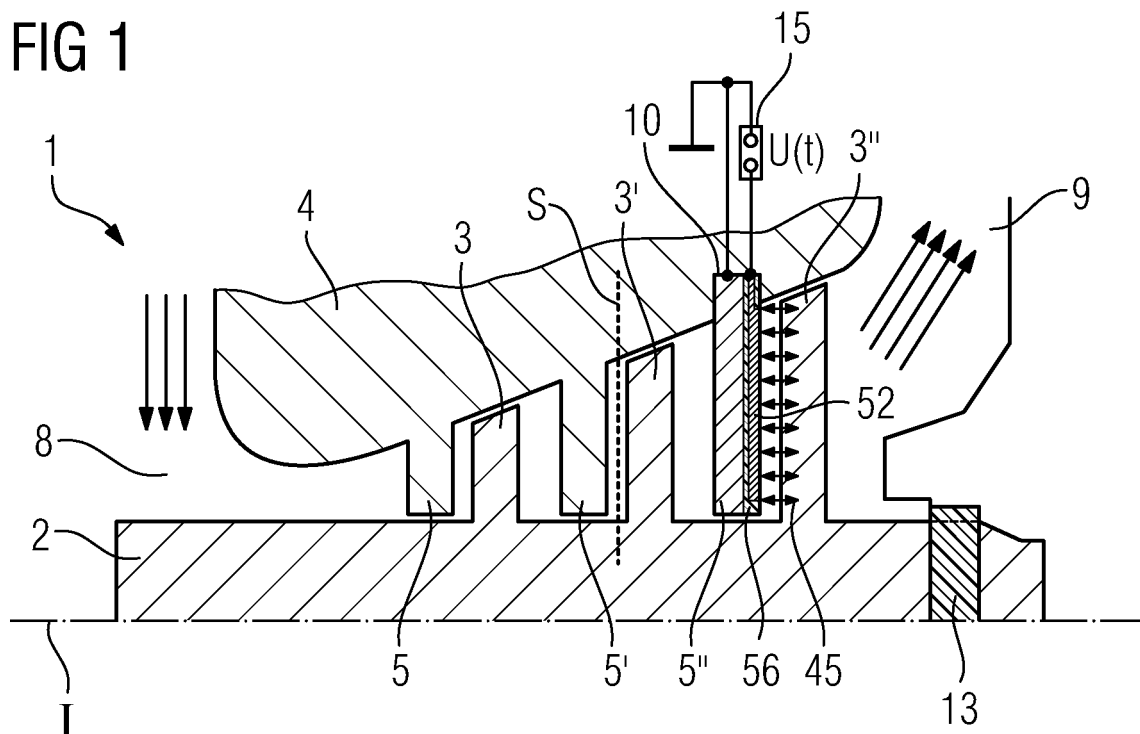
(72) Erfinder:

- **Hammer, Thomas
91334 Hemhofen (DE)**
- **Kishimoto, Tetsuo
91056 Erlangen (DE)**
- **Sürken, Norbert
45468 Mülheim a.d. Ruhr (DE)**

(54) **Verfahren zur Verringerung oder Vermeidung der Tropfenschlagerosion in Dampfturbinen und zugehörige Dampfturbine**

(57) Eine Dampfturbine enthält Leitschaufeln und anschließende Laufschaufeln, an denen Flüssigkeit aus dem Dampfstrom kondensiert und als Tröpfchen abgeschieden werden. Dabei entstehen kleine Primärtropfen und größere Sekundärtropfen. Gemäß der Erfindung werden die Sekundärtropfen am Ort der Entstehung in

unmittelbarer Nähe dazu zerkleinert, durch die dann besser beschleunigbaren entstandenen kleineren Tröpfchen wird die durch den Tropfenschlag verursachte Erosion verhindert oder zumindest stark vermindert. Die Sekundärtropfen werden auf mechanische Weise, insbesondere durch Ultraschall, zerkleinert.

FIG 1**EP 2 128 387 A2**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Verringerung oder Vermeidung der Tropfenschlagerosion in einer Dampfturbine, die Leitschaufeln und anschließende Laufschaufeln enthält, an denen Flüssigkeit kondensiert und als Tröpfchen abgeschieden wird, wobei kleine Primärtropfen und größere Sekundärtropfen entstehen. Daneben bezieht sich die Erfindung auch auf eine zugehörige Dampfturbine mit Hilfseinrichtungen zur Ausführung des Verfahrens.

[0002] Bei Dampfturbinen wird insbesondere im Wasserdampf enthaltene Energie in mechanische Energie umgewandelt und damit ein elektrischer Generator oder auch eine Arbeitsmaschine angetrieben. Um die im Dampf gespeicherte Wärme soweit wie möglich für die Umwandlung in mechanische Energie nutzen zu können, werden Niederdruck-Dampfturbinen so betrieben, dass die Kondensation bereits in der Turbine einsetzt und so am Austritt ein stark expandierter Dampf mit typisch 10-16 % Nässe vorliegt. Ein Teil dieses Kondensats führt zur Bildung eines Wasserfilms auf den Turbinenschaufeln der Stufen, die stromab der einsetzenden Kondensation liegen. Da die Laufschaufeln und der ggf. auf ihnen befindliche Wasserfilm rotationsbedingt erheblichen Fliehkräften ausgesetzt sind, findet eine Wasseransammlung nur auf den Leitschaufeln in signifikantem Ausmaß statt. Dieser Wasserfilm fließt - getrieben durch die Dampfströmung - an die Hinterkanten der Leitschaufeln und reißt dort in Form von Tropfen ab, die wesentlich größer sind als die primär durch Kondensation im Dampf volumen gebildeten Primärtropfen. Weil diese Sekundärtropfen eine im Vergleich zu den Primärtropfen hohe Masse haben, können sie der Dampfströmung nur bedingt folgen (Massenträgheit) und prallen deshalb mit hohen Relativgeschwindigkeiten auf die stromab der Leitschaufel rotierenden Laufschaufeln. Dabei richten sie teilweise hohe Schäden durch Tropfenschlagerosion an.

[0003] Um letztere Schäden zu begrenzen, wurden bereits verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen, die die auf den Leitschaufeln angesammelten Wassermengen reduzieren sollen. Diese Maßnahmen kann man in drei Kategorien einteilen:

- 1.: Maßnahmen zur Reduzierung der auf den Leitschaufeln angesammelten Wassermengen;
- 2.: Maßnahmen zur Reduzierung der Abscheidung von Wasser auf den Leitschaufeln;
- 3.: Maßnahmen zur Reduzierung der Sekundärtropfengröße

[0004] In die erste Kategorie fallen sowohl Maßnahmen zur Ableitung des Wassers durch kanalartige Strukturen nach außen (Absaugeschlitze/Absaugebohrungen) als auch Maßnahmen zur Verdampfung der Wasserfilme durch Beheizung der Leitschaufeln von innen. In die zweite Kategorie fallen Maßnahmen zur Steuerung der Kondensation im Dampf volumen, die zur Ausbildung

einer höheren Zahl kleinerer Tropfen führen, die der Strömung besser folgen können und sich deshalb nicht so schnell auf den Leitschaufeln ablagern. In die dritte Kategorie fallen sowohl Maßnahmen, die die Oberflächeneigenschaften von Leitschaufeln modifizieren als auch Maßnahmen, die durch gezielte Dampfausblasung im Bereich der Leitschaufelhinterkante eine Tropfenzerstäubung befördern.

[0005] Maßnahmen der ersten Kategorie sind nur begrenzt erfolgreich, weil Strukturen, die zur nahezu vollständigen Ableitung des Wassers von der Leitschaufel führen, sowohl die Strömung in der Dampfturbine nachhaltig beeinflussen als auch die verfügbare Menge an Arbeitsfluid reduzieren und damit den Wirkungsgrad reduzieren.

[0006] Maßnahmen zur Steuerung der Kondensation im Volumen können eine Hauptquelle der Bildung von Wasserfilmen auf Leitschaufeln beeinflussen, nämlich die Volumen kondensation. Ein Teil der so gebildeten feinsten Tröpfchen kann sich trotzdem noch auf den Leitschaufeln ansammeln. Die Oberflächen kondensation als zweite Quelle des Wassers auf den Turbinenschaufeln lässt sich durch eine Maßnahme der zweiten Kategorie nicht unterbinden. Außerdem beruht ein Teil der bisher vorgeschlagenen Maßnahmen zur Steuerung der Volumen kondensation auf dem Zusatz Ionen bildender Substanzen, die die chemische Korrosion fördern können und deshalb nicht wünschenswert erscheinen.

[0007] Die Beheizung der Leitschaufeln erfordert neben dem Einsatz geringer Mengen von höher energetischem Heizdampf einen erhöhten apparativen Aufwand, der die Kosten des Produktes Dampfturbine trotz erwiesener hoher Wirksamkeit signifikant erhöhen kann.

[0008] Bislang vorgeschlagene Maßnahmen zur Veränderung der Oberflächeneigenschaften von Leitschaufeln haben insbesondere Einschränkungen durch die geringe Beständigkeit z. B. von wasserabweisenden Beschichtungen. Die Dampfausblasung an der Leitschaufelhinterkante führt wie die Maßnahmen der ersten Kategorie zu einer Reduzierung der Wirkungsgrades über die Verwendung höher energetischen Dampfes, welcher der Arbeitsumsetzung nicht mehr zur Verfügung steht.

[0009] Ausgehend vom Stand der Technik ist es Aufgabe der Erfindung, die Bildung grober Tropfen bei einer Dampfturbine zu verringern oder sogar zu verhindern und eine zugehörige Dampfturbine zu schaffen. Die Erfindung fällt somit in die oben genannte dritte Kategorie.

[0010] Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die Maßnahmen des Patentanspruches 1 gelöst. Eine zugehörige Dampfturbine ist Gegenstand des Patentanspruches 11. Weiterbildungen des Verfahrens einerseits und der Dampfturbine andererseits sind in den jeweiligen Unteransprüchen angegeben.

[0011] Mit der Erfindung werden Maßnahmen geschaffen, die die Größe der Sekundärtropfen entweder beim Tropfenabriss an der Hinterkante der Leitschaufeln stark reduzieren oder zu einer beschleunigten Zerstö-

rung großer Sekundärtropfen führen, bevor sie die nächste Reihe von Turbinenschaufeln erreichen. Das wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass an Teilen der Oberfläche der Leitschaufeln akustische Schwingungen mit Frequenzen im Bereich des Ultraschalls erzeugt werden. Diese Schwingungen führen zum einen zu einer Zerstäubung des Wasserfilms, bevor er in Form großer Sekundärtropfen abreißen kann, zum anderen führen sie zu einer Ausbildung von Ultraschallwellen, die zu einer Zerstäubung von Tropfen im Volumen führen.

[0012] Bei der Ausnutzung des zweitgenannten Effektes zur Zerstäubung von Tröpfchen mit Durchmessern im Sub-Millimeterbereich wird die Frequenz der Ultraschallwellen erfindungsgemäß so gewählt, dass die Wellenlänge im Dampf im Bereich von einigen zehntel Millimetern bis zu einigen Millimetern liegt. Dadurch können die zur Zerstäubung erforderlichen Schallamplituden und der damit verbundene Energiebedarf minimiert werden.

[0013] Weiterhin werden zur Minimierung der Schallamplituden resonante Schwingungen der Wassertropfen im Ultraschallfeld ausgenutzt. Durch Anpassung der Frequenz des Ultraschalls an die zu einem bestimmten Tropfendurchmesser gehörige Resonanzfrequenz können Tröpfchen, deren Durchmesser in der Nähe dieses Durchmessers liegt, besonders effizient zerstäubt werden.

[0014] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich die Bildung von kleinen Primärtröpfchen, die eine der Hauptquellen von größeren Sekundärtropfen darstellen, praktisch nicht vermeiden lässt, weil Dampfturbinen aus Effizienzgründen mit Dampfendnässen in der Größenordnung von ca. 10-16 % betrieben werden. Grundidee der Erfindung ist nun, die Sekundärtropfen am Ort der Entstehung oder in unmittelbarer Nähe dazu zu zerkleinern und so trotz der Gegenwart von Tröpfchen die durch Tropfenschlag verursachte Erosion zu verhindern bzw. stark zu vermindern: Die zerkleinerten Sekundärtropfen können der Dampfströmung problemlos folgen und prallen deshalb mit sehr geringen Fehlinzidenzen (Falschanströmung) auf die Laufschaufeloberflächen auf. Der dabei verursachte Schaden ist wegen der auf einen Bruchteil des normalerweise auftretenden Wertes der Tropfenmasse und der Relativgeschwindigkeiten vergleichsweise gering.

[0015] Der wesentliche Vorteil einer mechanischen Zerkleinerung der Tropfen gegenüber anderen Maßnahmen wie ausgeführten Beheizung von Leitschaufeloberflächen liegt darin, dass der Energieaufwand vergleichsweise gering ist: Im Wesentlichen handelt es sich hier um die Erhöhung der Oberflächenenergie zuzüglich der elektrischen Verluste bei der Erzeugung des Ultraschalls. Der konstruktive/apparative Aufwand der dargestellten Lösung vermindert sich ebenfalls.

[0016] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit den Patentansprüchen.

[0017] Es zeigen in schematischer Darstellung

Figur 1 eine Dampfturbine mit piezoelektrischen Aktuatoren zur Tropfenzerstäubung an der Hinterkante von Leitschaufeln,

Figur 2 ein Schnitt durch eine in Figur 1 verwendete Leitschaufel,

Figur 3 ein Schnitt durch die zu Figur 1 und 2 alternative Gestaltung einer Leitschaufel mit einem piezoelektrischen Aktuator zur Tropfenzerstäubung an der Hinterkante der Turbinenschaufel,

Figur 4 ein Schnitt einer Leitschaufel mit einem kapazitiven Schallwandler,

Figur 5 ein Schnitt einer Leitschaufel mit einem zu Figur 4 alternativen kapazitiven Schallwandler,

Figur 6 ein Schnitt einer Leitschaufel mit einem weiteren zu Figur 4 und 5 alternativen kapazitiven Schallwandler.

[0018] In der Figur 1 bedeutet 1 eine Dampfturbine, von der jeweils nur ein Teil dargestellt ist. Im Einzelnen ist jeweils ein Rotor 2 mit Rotationsachse I vorhanden, auf dem sich einzelne Laufschaufelreihen 3, 3', ... befinden, wobei speziell drei Laufschaufelreihen 3, 3', 3" angedeutet sind. Korrespondierend dazu ist ein Stator 4 mit zugehörigen Leitschaufeln 5, 5', 5" vorhanden. Es sind auch Anordnungen mit mehr oder weniger Schaufelreihen denkbar.

[0019] Über eine Zuleitung 8 erfolgt der Dampfstrom. Der Dampfstrom wird in die Anordnung aus Stator 4 und Rotor 2 mit den Laufschaufeln 3, 3', 3" geleitet, wodurch über die Umwandlung von Strömungsenergie in mechanische Energie der Rotor in Drehung versetzt wird. Damit kann beispielsweise ein mechanisch angeschlossener Generator oder auch eine Arbeitsmaschine betrieben werden.

[0020] Beim oder nach dem Einbringen des Dampfes in die Anordnung gemäß Figur 1 kondensiert der Dampf hauptsächlich in Form kleiner Tröpfchen. In den Figuren ist dazu beispielhaft eine Sättigungslinie S (auch: "Taulinie") eingezeichnet, nach deren Überschreitung der Dampf im thermodynamischen Gleichgewicht teils in flüssigem teils in gasförmigem Aggregatzustand vorliegt.

[0021] In Figur 1 ist auf der Profilhinterkante einer Leitschaufel 5" eine Schicht 16 aus piezoelektrischem Material aufgebracht. Darauf befindet sich eine Elektrode 12. Die Elektrode kann dabei als Folie/Dünnschicht ausgeführt werden. Diese Dünnschicht kann vorzugsweise durch eine Beschichtung vor dem umliegenden Dampf geschützt werden. Die Elektrode 12 ist mit einer Spannungsquelle 15 für eine Wechselspannung U(t) verbunden. Mit einer hinsichtlich Frequenz geeignet vorgegebenen Wechselspannung U(t) kann der Piezoschwinger 16 zu Schwingungen im Ultraschallbereich angeregt werden (piezoelektrischer Schallwandler).

[0022] In Figur 2 ist ein Schnitt durch eine einzelne Leitschaufel 50 dargestellt, die den üblichen konvex-konkaven Profilverlauf von Turbinenschaufeln hat. An der Hinterkante der Leitschaufel 50, die eine Abrisskante AK

für flüssiges Wasser realisiert, ist das piezoelektrische Material 56 als Schicht aufgebracht, und darüber ist flächig eine Elektrode 52 angeordnet. An die Elektrode 52 wird die elektrische Spannung aus der Spannungsquelle 15 entsprechend der Figur 1 angelegt. Es wird somit die Anordnung nach Figur 1 realisiert.

[0023] In Figur 3 ist ein Schnitt durch eine einzelne Leitschaufel 50 dargestellt, die ebenfalls den üblichen konvex-konkaven Profilverlauf von Turbinenschaufeln hat. Die Hinterkante der Leitschaufel 50, die eine Abrisskante AK für flüssiges Wasser realisiert, ist als Abfolge eines massiven Segmentes aus piezoelektrischem Material 57 und eines weiteren, die Abrisskante bildenden Elektrodensegmentes 58 ausgebildet.

[0024] An das Elektrodensegment 58 wird die elektrische Spannung aus der Spannungsquelle 15 entsprechend der Figur 1 angelegt.

[0025] Mit Figur 3 wird somit eine Anordnung in Analogie zu Figur 1 realisiert. Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, dass mit moderaten Spannungen hohe Schwingungsamplituden an der Abrisskante AK generiert werden können, wobei die Kontraktion des piezoelektrischen Materials senkrecht zum elektrischen Feld, welche die Konzentration des Schichtaufbaus deutlich reduzieren könnte, wesentlich kleiner gehalten werden kann als im Falle von flächig aufgetragenem Material, das entsprechend Figur 2 eine dünne Schicht bildet.

[0026] Alternativ zur piezoelektrischen Anregung der Leitschaufeloberfläche kann eine elektrostatisch anregbare Membran zur Erzeugung von mechanischen Schwingungen im Ultraschallbereich verwendet werden, womit ein kapazitiver Schallwandler gebildet wird.

[0027] Figur 4 zeigt eine elektrisch isolierende, partiell mit einer Elektrodenschicht 62 versehene Membran 61, die schwingungsfähig in der Nähe der Hinterkante der Leitschaufel 50 bündig mit der Leitschaufeloberfläche angeordnet ist. Die Schwingungsfähigkeit der Membran 61 wird durch eine entsprechende einen Hohlraum bildende Ausnehmung 60 in der Leitschaufel 50 gewährleistet. Durch Anlegen einer geeigneten Wechselspannung an die Elektrodenschicht 62 wird die Membran 61 zu hochfrequenten Schwingungen angeregt, die auf den Wasserfilm übertragen werden und so zu dessen Zerstäubung führen.

[0028] Eine solche Membran kann z. B. aus einer Kunststoffolie bestehen. Auch andere Materialien sind möglich. Die Folie ist in die Schaufel derart eingelassen, dass eine glatte Schaufeloberfläche gebildet ist.

[0029] Figur 5 zeigt eine andere Ausführungsform des in die Leitschaufel 50 eingelassenen kapazitiven Schallwandlers nach Figur 4, bei dem die als dünner Metallfilm ausgelegte Elektrode 62' durch die Membran 61 vor Dampf und Nässe geschützt ist, indem sie auf der dem Hohlraum 60 zugewandten Seite der Membran 61 angebracht wird.

[0030] Figur 6 zeigt eine alternative Ausführungsform eines in eine Leitschaufel eingelassenen kapazitiven Schallwandlers, bei der eine schwingungsfähige Mem-

bran 66 aus einer Metallfolie gebildet ist, wobei in diesem Fall die Membran 66 in einen elektrisch isolierenden Rahmen 65 aus isolierendem Material getragen wird, der auf den Hohlraum 60 aufgesetzt ist. Es ergibt sich ebenfalls eine glatte Schaufeloberfläche. Eine separate Elektrode ist wegen der elektrisch leitfähigen Membran nicht notwendig.

[0031] In allen Fällen der Figuren 3 bis 6 wird die Auslegung der Membran so gewählt, dass sich Schwingungsfrequenzen f von mindestens 10 kHz, bevorzugt jedoch 100 kHz bis 1 MHz, anregen lassen.

[0032] Die vorstehend beschriebenen Maßnahmen zur Reduzierung der Tropfenschlagerosion lassen sich mit weiteren Maßnahmen kombinieren, wie sie in der parallelen Patentanmeldung der Anmelderin mit gleicher Anmeldepriorität und der Bezeichnung "Verfahren zur Reduzierung der Tropfenschlagerosion in Dampfturbinen durch Kontrolle der Tropfengröße und zugehörige Dampfturbine" offenbart werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verringerung oder Vermeidung der Tropfenschlagerosion in einer Dampfturbine, die Leitschaufeln und anschließende Laufschaufeln enthält, an denen Flüssigkeit kondensiert und als Tröpfchen abgeschieden wird, wobei kleine Primärtröpfchen und größere Sekundärtröpfchen entstehen, mit folgenden Maßnahmen:
 - die Sekundärtröpfchen werden am Ort der Entstehung oder in unmittelbarer Nähe dazu mittels akustisch angeregter Schwingungen zerkleinert,
 - die dabei entstandenen kleineren, leichteren und damit besser beschleunigbaren Tröpfchen folgen der Dampfströmung besser,
 - **dadurch** wird die Zahl und erodierende Wirkung der Tropfeneinschläge auf nachfolgenden Turbinenschaufelreihen reduziert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sekundärtröpfchen bei der Entstehung an den Leitschaufeln oder in unmittelbarer Nähe dazu zerkleinert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sekundärtröpfchen durch Ultraschallzerstäubung zerkleinert werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung von Ultraschall piezoelektrischer Schallwandler verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung von Ultraschall kapazitiver Schallwandler verwendet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membran für den kapazitiven Schallwandler eine Membran aus Kunststoff, die partiell mit einem Metallfilm versehen ist, verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den kapazitiven Schallwandler eine Membran aus einem Metall, die isoliert in die Leitschaufel eingesetzt ist, verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwingungsaktuator durch eine Beschichtung geschützt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwingungsaktuator durch einen zwischen Schaufel und Aktuator angeordneten Isolator vom Leitschaufelmaterial elektrisch ausgeführt wird.
10. Dampfturbine mit einer Hilfseinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 9 mit Leitschaufeln innerhalb des Dampfturbinengehäuses und mehreren Reihen von Laufschaufeln, **dadurch gekennzeichnet, dass** an wenigstens einer Leitschaufel (5, 5', 5'', ...; 50) piezoelektrisches Material (14) mit wenigstens einer Elektrode (12) vorhanden ist, wobei der Leitschaufel (5, 5', 5'', ...; 50) Mittel (15) zur elektrischen Anregung des piezoelektrischen Materials (16, 56) zugeordnet sind.
11. Dampfturbine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das piezoelektrische Material (56) in der Nähe der Abrisskante (AK) der Leitschaufel (50) angeordnet ist.
12. Dampfturbine nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das piezoelektrische Material (56) eine Beschichtung auf der Leitschaufel (50) bildet und auf der Schicht aus piezoelektrischen Material (56) eine Elektrode (52) angeordnet ist.
13. Dampfturbine nach Anspruch 11 oder Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der piezoelektrische Aktuator und die zu dessen Anregung verwendete Elektrode als Leitschaufelsegmente ausgeführt sind.
14. Dampfturbine nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die wenigstens eine Leitschaufeln (5, 5', 5'', ...; 50) geerdet ist und dass die Elektroden (12, 52) mit einer hochfrequenten Wechselspannung vorgegebener Frequenz (f) beaufschlagbar sind.
15. Dampfturbine nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Wechselspannungsquelle (15) vorhanden ist.
16. Dampfturbine mit einer Hilfseinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 9, mit Leitschaufeln innerhalb des Dampfturbinengehäuses und mehreren Reihen von Laufschaufeln, **dadurch gekennzeichnet, dass** wenigstens an einer Leitschaufel (5, 5', 5'', ...; 50) eine schwingfähige Membran (61) einer Aussparung (60) vorhanden ist, wobei der Leitschaufel (5, 5', 5'', ...; 50) Mittel (15, U(t)) zur elektrischen Anregung der Membran (61, 65) zugeordnet sind.
17. Dampfturbine nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membran (61, 65) in der Nähe der Abrisskante (AK) der Leitschaufel (50) angeordnet ist.
18. Dampfturbine nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membran (61) aus elektrisch isolierendem Material besteht und dass der Aufbau eine Leitschaufel (50) mit Aussparung als Hohlraum (60), Membran (61) und Elektrode (62) einen kapazitiven Schallwandler bildet.
19. Dampfturbine nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine metallische Membran (66) vorhanden ist, die gegenüber der Leitschaufel isoliert angeordnet ist.

FIG 1

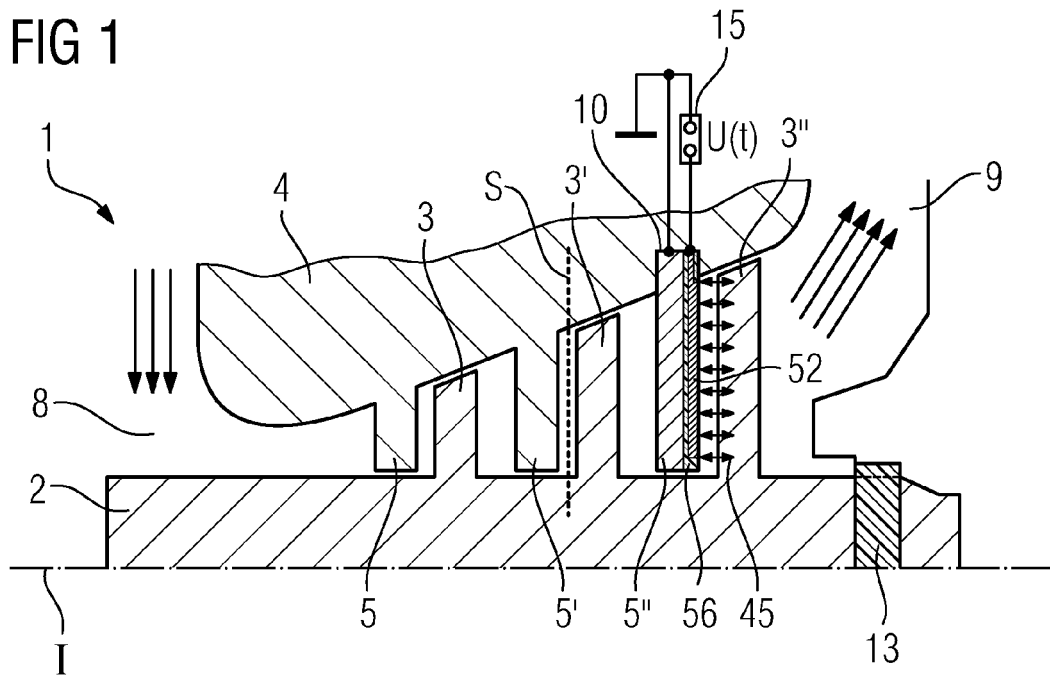


FIG 2

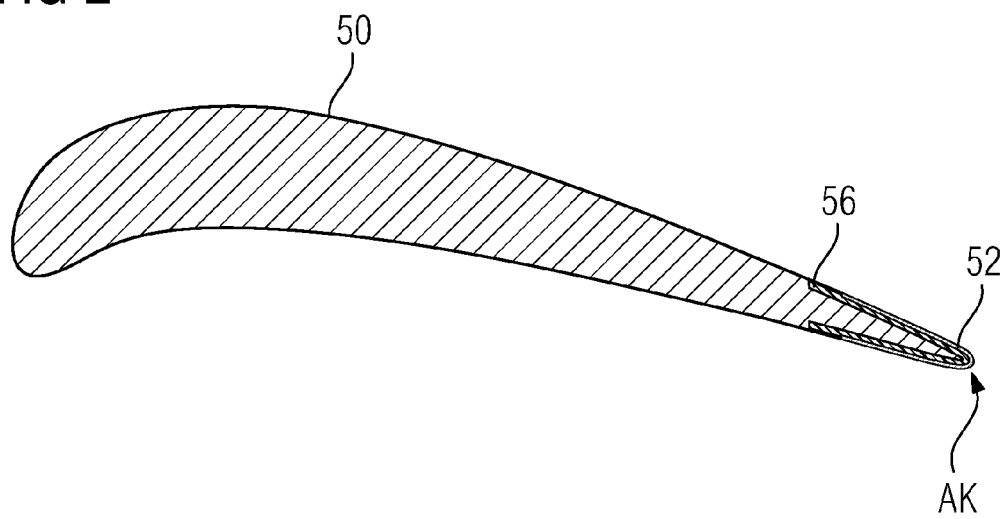


FIG 3

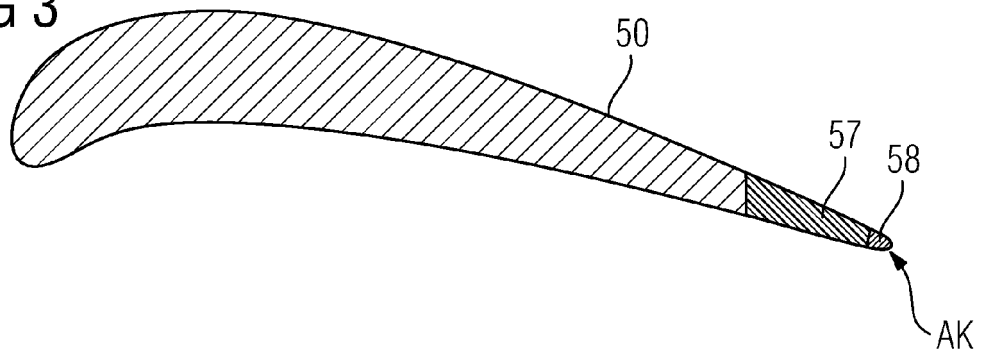


FIG 4

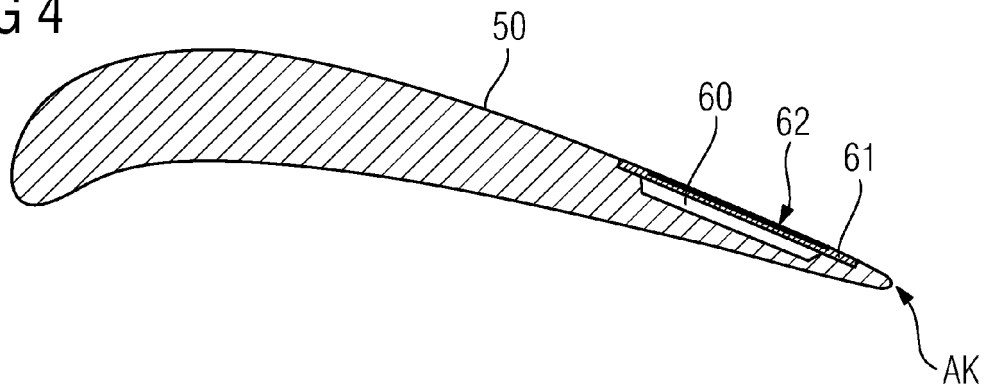


FIG 5

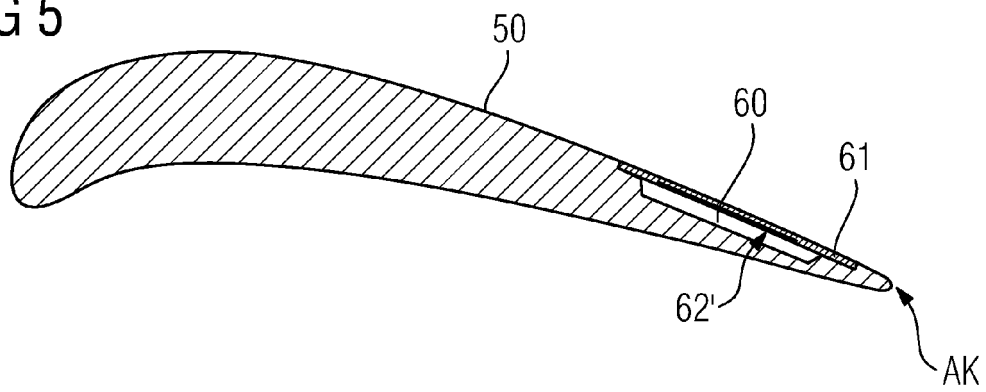


FIG 6

