

(19)



(11)

EP 2 495 403 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.09.2012 Patentblatt 2012/36

(51) Int Cl.:
F01D 25/00^(2006.01) F01D 25/10^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12151594.4**

(22) Anmeldetag: **18.01.2012**

(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

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

(72) Erfinder: **Zien, Martin 02826 Görlitz (DE)**

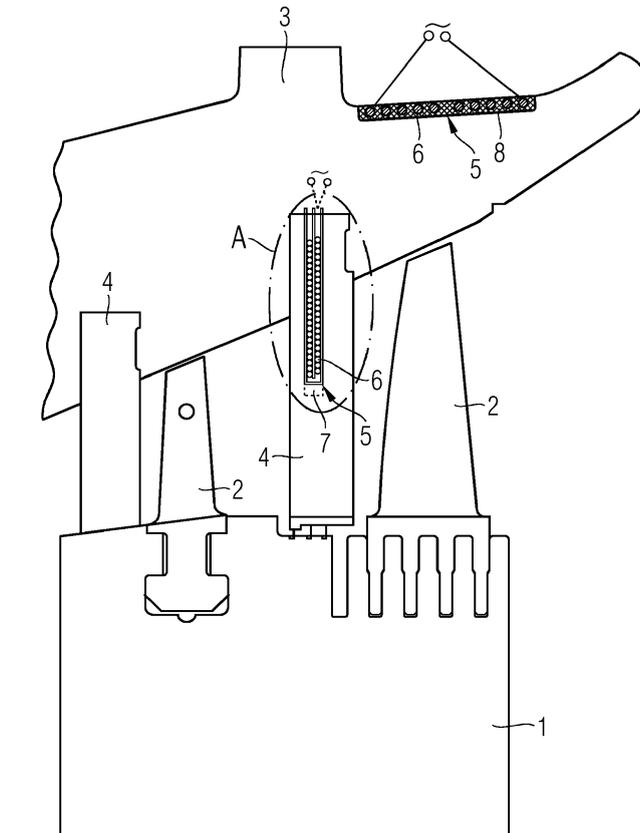
(30) Priorität: **04.03.2011 DE 102011005126**

(54) **Dampfturbine mit induktiver Beheizung**

(57) Die Erfindung betrifft eine Dampfturbine, umfassend wenigstens einen Rotor 1 mit einer Anzahl von am Rotor 1 angeordneten Laufschaufeln 2, sowie einen Leitschaufelträger 3 mit einer Anzahl von im Leitschaufelträger 3 angeordneten Leitschaufeln 4. Zur Vermeidung von

Tropfenschlagerosion wird der Leitschaufelträger 3 und/oder die Leitschaufeln 4 induktiv beheizt. Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zum Betreiben einer Dampfmaschine, bei der beim Erreichen definierter Betriebszustände eine induktive Beheizung der Leitschaufel 4 und/oder des Leitschaufelträgers 3 erfolgt.

FIG 1



EP 2 495 403 A2

Beschreibung

[0001] Bei Dampfturbinen und insbesondere in den Niederdruckstufen von Dampfturbinen herrschen Dampfzustände, die lokal zur Auskondensation des Dampfes zu Wasser führen. Dieses Wasser wird in Form von Tröpfchen mit der Dampfströmung mittransportiert. Treffen diese Wassertröpfchen auf die schnell rotierenden Laufschaufeln der Niederdruckstufe, kommt es dort insbesondere an den Eintrittskanten der Laufschaufeln, zur sogenannten Tropfenschlagerosion. Diese sorgt für einen starken Materialabtrag, der zum einen die aerodynamischen Eigenschaften der Laufschaufeln negativ beeinträchtigt und gleichzeitig zu einer verminderten Lebensdauer der Laufschaufeln führt. Besonders ausgeprägt ist dieses Verhalten an der Außenseite des Dampfkanals der Dampfturbine wo die Umfangsgeschwindigkeit der Laufschaufeln am höchsten ist.

[0002] Zur Vermeidung der Tropfenschlagerosion werden Hohlleitschaufeln ausgebildet, wobei es zwei unterschiedliche Varianten gibt. Bei der ersten Variante wird das Kondensat durch Schlitze in den Hohlleitschaufeln aus dem Dampfkanal abgesaugt. Das auskondensierte Wasser kann so keine Tropfen bilden, die von der Dampfströmung von den Laufschaufeln in den Strömungskanal gerissen werden und dann auf die Laufschaufeln auftreffen. Bei der zweiten Variante wird die Hohlleitschaufel von heißem Dampf durchströmt und erhitzt so das Kondensat, das sich auf ihr absetzt, so dass dieses wieder verdampft.

[0003] Bei kleinen Baugrößen sind die zuvor genannten aufwendigen Leitschaufelkonstruktionen allerdings nicht mehr wirtschaftlich realisierbar. Aus diesem Grund wird derzeit als Gegenmaßnahme zur Tropfenschlagerosion, bei kleinen Baugrößen, an der Eintrittskante der Niederdruckschaufel ein mechanischer Erosionsschutz in Form von Schutzblechen oder Platten angebracht. Des Weiteren werden Laufschaufeln aus speziell gehärtetem Stahl oder Titan gefertigt. Diese Maßnahmen können die negativen Auswirkungen der Tropfenschlagerosion aber nur abschwächen und nicht vollständig verhindern.

[0004] Ausgehend vom vorliegenden Stand der Technik ist es daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Dampfturbine bereit zu stellen, die eine verminderte Anfälligkeit gegenüber Tropfenschlagerosion aufweist. Des Weiteren ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Betreiben einer Dampfturbine bereit zu stellen, welches eine verminderte Tropfenschlagerosionsbeanspruchung der Dampfturbine ermöglicht.

[0005] Die Aufgabe wird hinsichtlich der Dampfturbine durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst. Hinsichtlich des Verfahrens zum Betreiben einer Dampfturbine, wird die Aufgabe durch die Merkmale des unabhängigen Verfahrensanspruchs 8 gelöst.

[0006] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung, die einzeln oder in Kombination miteinander einsetzbar sind, sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0007] Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel, um-

fassend wenigstens einen Rotor mit einer Anzahl von am Rotor angeordneten Schaufeln, sowie einem Leitschaufelträger, mit einer Anzahl von im Leitschaufelträger angeordneten Schaufeln, wobei zur Vermeidung von Tropfenschlagerosion der Leitschaufelträger und/oder die Leitschaufeln beheizt werden, zeichnet sich dadurch aus, dass die Beheizung des Leitschaufelträgers und/oder der Leitschaufeln induktiv erfolgt.

[0008] Durch die induktive Beheizung der Turbinenschaufel ist ein geringerer Bauraumbedarf notwendig als bei dem im Stand der Technik ausgeführten Hohlleitschaufeln, so dass es möglich ist, diese Technik der Leitschaufelbeheizung auch in Niederdruckstufen von Dampfturbinen mit kleiner Abströmfläche zu realisieren. Die induktive Beheizung ist dabei einfach zu realisieren und zudem aufgrund der einfachen Ausbildung relativ preiswert.

[0009] Die Beheizung kann sowohl im Leitschaufelträger oder in/an einzelnen oder allen Leitschaufeln der Dampfturbine erfolgen. Wie groß die induktive Beheizung auszubilden ist, hängt von der Höhe des anfallenden Kondensates sowie der Heizleistung der induktiven Beheizung ab. Vorteilhaft ist eine gleichmäßige Erwärmung entlang des Umfangs, um Spannungen infolge von Temperaturgradienten zu vermeiden.

[0010] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass im Leitschaufelträger und/oder in den Leitschaufeln Induktionsspulen angeordnet sind. Durch die Anordnung von Induktionsspulen in Ausnehmungen, insbesondere Bohrungen im Leitschaufelträger und/oder in den Leitschaufeln, kann die induktive Beheizung einfach und zugleich robust ausgeführt werden. Die Induktionsspulen liegen dabei geschützt im Leitschaufelträger und/oder den Leitschaufeln.

[0011] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Induktionsspule induktiv oder galvanisch mit elektrischer Energie versorgt wird. Die induktive oder galvanische Versorgung ist besonders unanfällig und robust.

[0012] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst die Dampfturbine wenigstens einen Temperatursensor, welcher ein Ausgangssignal ausgibt, welches als Eingangssignal einer Steuerung und/oder Regelung der induktiven Beheizung dient. Hierdurch kann die Temperatur der induktiven Beheizung individuell gesteuert und geregelt werden, so dass ein besonders energieeffizienter Betrieb ermöglicht wird und so die Energiekosten möglichst gering gehalten werden können.

[0013] Erfindungsgemäß bevorzugt weist die Dampfturbine eine Kontrolleinheit zur Steuerung, Regelung und/oder Energieversorgung der induktiven Beheizung auf.

[0014] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Induktionsspule zum Schutz vor Feuchtigkeit in einer wasserundurchlässigen Matrix, vorzugsweise einer Glas- oder Keramikmatrix eingebettet ist. Hierdurch wird wirkungsvoll verhindert, dass

Feuchtigkeit an die Induktionsspule gelangen kann und die Funktion der induktiven Beheizung beeinträchtigt. Die wasserundurchlässige Matrix bietet zusätzlichen mechanischen Schutz für die Induktionsspule und fixiert diese spielfrei in der Ausnehmung der Leitschaufeln bzw. des Leitschaufelträgers.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben einer Dampfturbine zeichnet sich dadurch aus, dass zumindest beim Erreichen definierter Betriebszustände eine induktive Beheizung des Leitschaufelträgers und/oder der Leitschaufel erfolgt. Die definierten Betriebszustände sind dabei vorzugsweise so definiert, dass beim Erreichen einer bestimmten Menge an Kondensat die Beheizung einsetzt, und so das Kondensat möglichst vollständig an der Leitschaufel bzw. am Leitschaufelträger verdampft, so dass es zu keiner Tröpfchenbildung an den Leitschaufeln kommt, die anschließend von der Dampfströmung mitgerissen würden und auf die sich schnell drehenden Laufschaufeln der Dampfturbine treffen würden.

[0016] Durch die erfindungsgemäße Dampfturbine wird es erstmals ermöglicht, eine Beheizung der Leitschaufeln und/oder des Leitschaufelträgers bei kleinen Abströmflächen zu realisieren. Hierdurch wird erstmals ein wirkungsvoller Schutz gegen Tropfenschlagerosion ermöglicht. Die induktive Beheizung ist dabei robust und kostengünstig.

[0017] Ein Ausführungsbeispiel und weitere Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand der Figuren erläutert.

[0018] Es zeigt:

- Figur 1, die induktive Beheizung einer Niederdruckstufengruppe einer Dampfturbine;
- Figur 2, die Detailansicht A der in Figur 1 dargestellten induktiven Beheizung.

[0019] Die Figuren zeigen jeweils nur schematisch und zum Teil vereinfacht die Dampfturbine, wobei jeweils nur die erfindungswesentlichen Bauteile dargestellt sind. Gleiche bzw. funktionsgleiche Bauteile sind figurübergreifend mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0020] Figur 1 zeigt eine Niederdruckstufengruppe einer Dampfturbine. Die Dampfturbine umfasst wenigstens einen Rotor 1, mit einer Anzahl von am Rotor 1 angeordneten Laufschaufeln 2. Die Niederdruckstufengruppe umfasst im Ausführungsbeispiel zwei Reihen. Des Weiteren umfasst die Dampfturbine einen Leitschaufelträger 3 mit einer Anzahl von im Leitschaufelträger 3 angeordneten Leitschaufeln 4. Zur Vermeidung von Tropfenschlagerosion sind der Leitschaufelträger 3 und die Leitschaufeln 4 induktiv beheizt. Durch die Beheizung wird das Kondensat, welches aus der Dampfströmung auskondensiert und sich in Form von Wasser in den Leitschaufeln 4 bzw. am Leitschaufelträger 3 absetzt, erneut verdampft. Hierdurch können keine kleinen Tröpfchen bilden, die dann von der Dampfströmung mitgerissen

würden. Die Tröpfchen würden ansonsten auf die sich mit hoher Geschwindigkeit drehenden Laufschaufeln 2 auftreffen und an diesen eine Tropfenschlagerosion bewirken. Die Tropfenschlagerosion würde insbesondere an der Eintrittskante der Laufschaufeln 2 zu einer Zerstörung der Laufschaufeln 2 und damit zu einer verschlechterten Aerodynamik führen.

[0021] Die induktive Heizung 5 beruht auf dem physikalischen Effekt, dass elektrisch leitfähige Körper durch in ihnen erzeugte Wirbelverluste erhitzt werden.

[0022] Bei der in Figur 1 gezeigten induktiven Heizung 5 wird über eine, von einem niederfrequenten Wechselstrom 9 durchflossenen Induktionsspule 6, ein magnetisches Wechselfeld erzeugt, das im Material, d.h. in der Leitschaufel 2 bzw. im Leitschaufelträger 3, Wirbelströme induziert. Falls die Leitschaufel 3 aus einem gyromagnetischen Werkstoff ausgebildet ist, kommt es zusätzlich zu Ummagnetisierungsverlusten die eine weitere Erwärmung verursachen.

[0023] Die induktive Beheizung kann sowohl im Leitschaufelträger 3 als auch in den Leitschaufeln 4 angeordnet werden. Eine Anordnung der induktiven Beheizung in den Leitschaufeln 4 ist allerdings insoweit von Vorteil, dass die Beheizung direkt über den Leitschaufeln 4 erfolgt und so für eine bessere Verdampfung des Kondensats sorgt. Grundsätzlich ist es auch möglich sowohl den Leitschaufelträger 3 als auch die Leitschaufeln 4 mit einer induktiven Beheizung 5 auszubilden.

[0024] Der Aufbau der induktiven Heizung 5 ist aus Figur 2 ersichtlich. Die Figur zeigt eine Detailansicht A, der in Figur 1 dargestellten induktiven Heizung 5. Die Leitschaufel 4, ist im Leitschaufelträger 3 angeordnet und mit einer induktiven Beheizung 5 versehen. Die induktive Beheizung der Leitschaufel 4 wird durch eine Induktionsspule 6 erreicht, die mit einem niederfrequenten Wechselstrom durchflossen wird. Die Induktionsspule 6 ist dabei in einer Ausnehmung 7, welche in Form einer Bohrung ausgebildet ist, in der Leitschaufel 4 angeordnet. Durch die Anordnung der Induktionsspule 6 in der Ausnehmung 7 wird die Induktionsspule 6 gut gegen mechanische Einwirkungen geschützt und ist gleichzeitig sicher fixiert. Die Induktionsspule 6 kann dabei über Leitungen, induktiv oder galvanisch mit elektrischer Energie versorgt werden. Zum Schutz vor Feuchtigkeit ist die Induktionsspule 6 in einer wasserundurchlässigen Matrix 8 eingebettet. Bevorzugt ist die Matrix als Glas- oder Keramik-Matrix ausgebildet.

[0025] Die erfindungsgemäße Dampfturbine weist vorzugsweise wenigstens einen Temperatursensor auf, welcher ein Ausgangssignal ausgibt, welches als Eingangssignal einer Steuerung oder Regelung der induktiven Beheizung 5 dient. Des Weiteren ist eine Kontrolleinheit zur Steuerung, Regelung und/oder Energieversorgung der induktiven Beheizung vorgesehen. Die Kontrolleinheit ist vorzugsweise außerhalb des Gehäuses angeordnet, um sie so gegen Feuchtigkeit und hohe Temperaturen zu schützen. Der Temperatursensor sowie die Kontrolleinheit sind so ausgebildet, dass beim

Erreichen definierter Betriebszustände eine induktive Beheizung der Leitschaufel 4 und/oder des Leitschaufelträgers 3 erfolgt. Die Kontrolleinheit sorgt dafür, dass die induktive Beheizung so erfolgt, dass das anfallende Kondensat weitgehend vollständig verdampft, so dass keine Tropfen von der Leitschaufel mit in die Dampfströmung gerissen werden können. Die Kontrolleinheit sorgt aber auch dafür, dass nicht zu viel Energie zur Beheizung aufgewendet wird, d.h. keine zu hohen Temperaturen an der Leitschaufel und/oder dem Leitschaufelträger auftreten. Bevorzugt weist jede Leitschaufel 4 eine induktive Beheizung auf. Durch die gleichmäßige Verteilung der induktiven Beheizung bzw. der Induktionsspulen 6, wird eine gleichmäßige Erwärmung entlang des Umfangs der Dampfturbine gewährleistet, wodurch ein thermischer Verzug von Bauteilen vermieden wird. Unter Umständen reicht es auch aus, jede zweite oder dritte Leitschaufel mit einer induktiven Beheizung 5 zu versehen.

[0026] Zur Gewinnung der elektrischen Energie, welche zur induktiven Beheizung notwendig ist, kann eine Solarenergieanlage vorgesehen werden. Eine solche Solarenergieanlage bietet sich insbesondere dann an, wenn es sich bei der Dampfturbine um eine Dampfturbine für ein solarthermisches Kraftwerk handelt.

Patentansprüche

1. Dampfturbine, umfassend wenigstens, einen Rotor (1) mit einer Anzahl von am Rotor (1) angeordneten Laufschaufeln (2), sowie einen Leitschaufelträger (3) mit einer Anzahl von im Leitschaufelträger (3) angeordneten Leitschaufeln (4), wobei zur Vermeidung von Tropfenschlagerosion der Leitschaufelträger (3) und/ oder die Leitschaufeln (4) beheizt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beheizung (5) des Leitschaufelträger (3) und/ oder der Leitschaufeln (4) induktiv erfolgt.
2. Dampfturbine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Leitschaufelträger (3) und/ oder in den Leitschaufeln (4) Induktionsspulen (6) angeordnet sind.
3. Dampfturbine nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Leitschaufelträger (3) und/ oder in den Leitschaufeln (4) Ausnehmungen (7), insbesondere Bohrungen, zur Aufnahme der Induktionsspulen (6) vorgesehen sind.
4. Dampfturbine nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Induktionsspule (6) induktiv oder galvanisch mit elektrischer Energie versorgt wird.
5. Dampfturbine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dampfturbine wenigstens einen Temperatursensor umfasst, welcher ein Ausgangssignal ausgibt, welches als Eingangssignal einer Steuerung und/ oder Regelung der induktiven Beheizung (5) dient.
6. Dampfturbine nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kontrolleinheit zur Steuerung, Regelung und/ oder Energieversorgung der induktiven Beheizung (5) vorgesehen ist.
7. Dampfturbine nach einem der vorherigen Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Induktionsspule (6) zum Schutz vor Feuchtigkeit in einer wasserundurchlässigen Matrix (8), vorzugsweise einer Glas- oder Keramik-Matrix eingebettet ist.
8. Verfahren zum Betreiben einer Dampfmaschine, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest beim Erreichen definierter Betriebszustände eine induktive Beheizung des Leitschaufelträgers (3) und/ oder der Leitschaufeln (4) erfolgt.

FIG 1

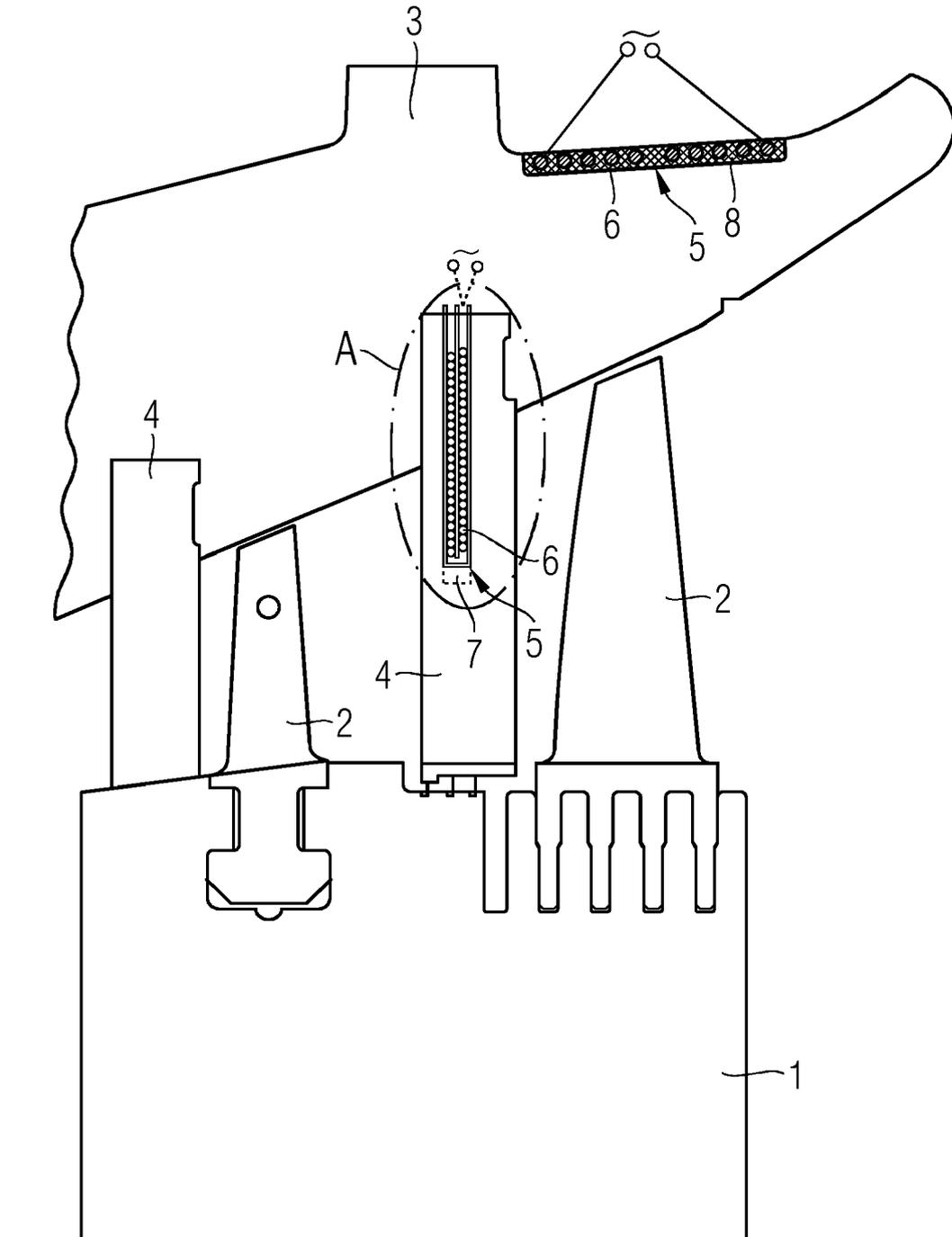


FIG 2

A

