

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 696 102 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

30.08.2006 Patentblatt 2006/35

(51) Int Cl.:

F01D 5/18 (2006.01)

F01D 5/28 (2006.01)

F01D 21/12 (2006.01)

F01D 17/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 05004366.0

(22) Anmeldetag: 28.02.2005

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR

Benannte Erstreckungsstaaten:

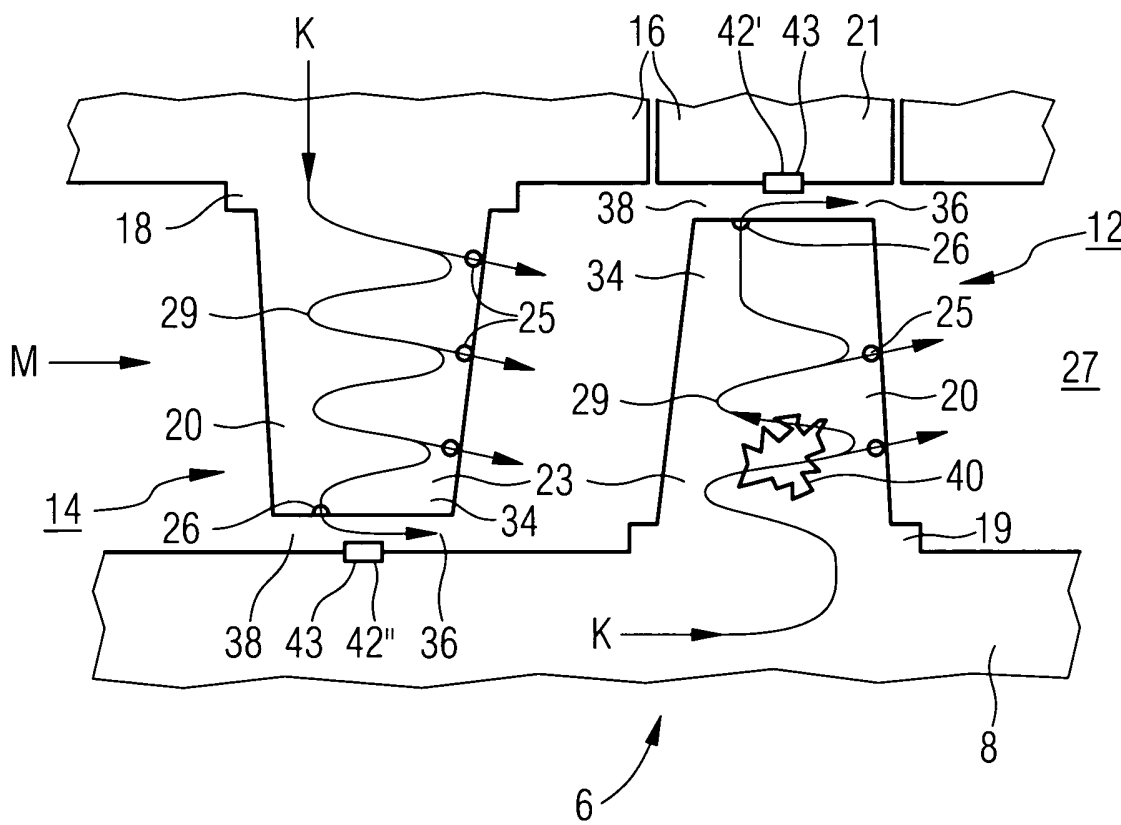
AL BA HR LV MK YU

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)(72) Erfinder: Maurus, Reinhold
86153 Augsburg (DE)

(54) Verfahren zur Betriebsüberwachung einer Gasturbine und Gasturbine

(57) Es soll ein Verfahren zur Betriebsüberwachung einer Gasturbine (1) mit einer Anzahl von jeweils eine thermische Schutzschicht (23), insbesondere eine TBC-Schutzschicht, aufweisenden und mit jeweils mindestens einem integriertem Kühlmittelkanal (29) versehenen Turbinenschaufeln (12, 14) angegeben werden, das auf möglichst einfache Weise eine zuverlässige Erkennung von Beschädigungen an der jeweiligen Schutzschicht (23) während des Betriebs der Gasturbine (1) ermöglicht. Dazu wird erfindungsgemäß anhand einer Temperaturerhöhung des im Kühlmittelkanal (29) einer Turbinenschaufel (12, 14) strömenden Kühlmittels (K), vorzugsweise Kühlluft, auf eine Beschädigung der thermischen Schutzschicht der Turbinenschaufel (12, 14) geschlossen.

FIG 2



EP 1 696 102 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Betriebsüberwachung einer Gasturbine mit einer Anzahl von jeweils einer thermischen Schutzschicht, insbesondere eine TBC-Schutzschicht, aufweisenden und mit jeweils mindestens einem integrierten Kühlmittelkanal versehenen Turbinenschaufeln. Die Erfindung betrifft weiterhin eine zur Durchführung des Verfahrens besonders geeignete Gasturbine.

[0002] Gasturbinen werden in vielen Bereichen zum Antrieb von Generatoren oder von Arbeitsmaschinen eingesetzt. Dabei wird der Energieinhalt eines Brennstoffs zur Erzeugung einer Rotationsbewegung einer Turbinenwelle genutzt. Der Brennstoff wird dazu in einer Brennkammer verbrannt, wobei von einem Luftverdichter verdichtete Luft zugeführt wird. Das in der Brennkammer durch die Verbrennung des Brennstoffs erzeugte, unter hohem Druck und unter hoher Temperatur stehende Arbeitsmedium wird dabei über eine der Brennkammer nachgeschaltete Turbineneinheit geführt, wo es sich arbeitsleistend entspannt.

[0003] Zur Erzeugung der Rotationsbewegung der Turbinenwelle sind dabei an dieser eine Anzahl von üblicherweise in Schaufelgruppen oder Schaufelreihen zusammengefassten Laufschaufeln angeordnet, die über einen Impulsübertrag aus dem Arbeitsmedium die Turbinenwelle antreiben. Die Laufschaufeln weisen dabei üblicherweise ein profiliertes, entlang einer Schaufelachse erstrecktes Schaufelblatt auf, das von einem mit der Turbinenwelle verbindbaren Schaufelfuß getragen ist. Zur Führung des Arbeitsmediums in der Turbineneinheit sind zudem üblicherweise zwischen benachbarten Laufschaufelreihen mit dem Turbinengehäuse verbundene und zu Leitschaufelreihen zusammengefasste Leitschaufeln angeordnet.

[0004] Bei der Auslegung derartiger Gasturbinen ist zusätzlich zur erreichbaren Leistung üblicherweise ein besonders hoher Wirkungsgrad ein Auslegungsziel. Eine Erhöhung des Wirkungsgrades lässt sich dabei aus thermodynamischen Gründen grundsätzlich durch eine Erhöhung der Austrittstemperatur erreichen, mit dem das Arbeitsmedium aus der Brennkammer ab- und in die Turbineneinheit einströmt. Daher werden Temperaturen von etwa 1200 °C bis 1300 °C für derartige Gasturbinen angestrebt und auch erreicht.

[0005] Bei derartig hohen Temperaturen des Arbeitsmediums sind jedoch die diesem ausgesetzten Komponenten und Bauteile hohen thermischen Belastungen ausgesetzt. Um dennoch bei hoher Zuverlässigkeit eine vergleichsweise lange Lebensdauer der betreffenden Komponenten zu gewährleisten, ist üblicherweise eine Kühlung dieser Komponenten, insbesondere der Turbinenschaufeln, vorgesehen. Zur Kühlung weist daher die jeweilige Turbinenschaufel üblicherweise einen in das Schaufelblatt oder das Schaufelprofil integrierten Kühlmittelkanal auf, von dem aus ein Kühlmittel gezielt insbesondere den thermisch belasteten Zonen der Turbinenschaufel zuleitbar ist.

[0006] Als Kühlmittel kommt dabei in der Regel Kühlluft zum Einsatz. Diese kann der jeweiligen Turbinenschaufel in der Art einer offenen Kühlung über einen integrierten Kühlmittelkanal zugeführt sein. Von diesem ausgehend durchströmt die Kühlluft in abzweigenden Kanälen die jeweils vorgesehenen Bereiche der Turbinenschaufel. Austrittsseitig sind diese Kanäle offengelassen, so dass die Kühlluft nach dem Durchströmen der Turbinenschaufel aus an der Schaufeloberfläche angeordneten Austrittsöffnungen abströmt und sich dabei mit dem in der Turbineneinheit geführten Arbeitsmedium vermischt. Es sind jedoch auch im Wesentlichen geschlossene Kühlkonzepte bekannt, bei denen zumindest der größte Teil der Kühlluft nach dem Durchströmen der jeweiligen Turbinenschaufel von dieser abgeleitet und zur Kühlung weiterer Turbinenkomponenten herangezogen wird bzw. schließlich wieder in den Verdichtermassenstrom zurückgeführt oder direkt in die Brennkammer eingeleitet wird.

[0007] Zusätzlich zu derartigen Kühlmechanismen kann durch eine auf die jeweilige Turbinenschaufel, insbesondere auf die Oberfläche des Schaufelblattes, aufgebrachte thermische Schutzschicht erreicht werden, dass die Temperatur des Schaufelgrundmaterials auch bei vergleichsweise hohen Turbineneintrittstemperaturen des Arbeitsmediums gewisse zulässige Werte nicht übersteigt. Als Material für derartige hochtemperaturfeste und einen hohen Wärmewiderstand aufweisende Schutz- oder Isolierschichten finden beispielsweise keramische Werkstoffe oder bestimmte metallische Legierungen, wie etwa eine Nickelbasislegierung, Verwendung. Diese können z. B. durch atmosphärisches Plasmaspritzen oder das so genannte PVD-Verfahren (Physical Vapor Deposition) auf die Schaufeloberfläche aufgebracht sein. Derartige Wärmedämmschichten werden auch als TBC-Schutzschicht (Thermal Barrier Coating) bezeichnet.

[0008] Aufgrund einer unter Umständen mangelhaften Festigkeit der Verbindung zwischen der Schutzschicht und dem Untergrundmaterial und bedingt durch die infolge extremer Umgebungsbedingungen (hoher Druck und hohe Temperatur mit großen örtlichen Gradienten, chemisch aggressives Arbeitsmedium sowie im Fall der Laufschaufeln hohe Zentrifugalkräfte) auftretenden Spannungszustände kommt es immer wieder zum Abplatzen der Schutzschichten oder zumindest von Teilbereichen davon. Hat sich erst einmal im Sinne eines Initialschadens ein kleines Bruchstück von der beschichteten Oberfläche der Turbinenschaufel abgelöst, so weitet sich der Schaden in der Regel schnell aus, wobei nach und nach größere Teile der Beschichtung abplatzen. Dabei besitzen derartige, unter Umständen mit hoher Geschwindigkeit fortgeschleuderte Bruchstücke ein erhebliches Zerstörungspotential, das bis zur kompletten Zerstörung der gesamten Turbine führen kann. Zudem kann die jeweils betroffene Turbinenschaufel nur noch auf sehr aufwendige Weise oder gar nicht mehr repariert werden, wenn der Grundwerkstoff nach dem Durchbruch der Schutzschicht durch den direkten Kontakt mit dem heißen Arbeitsmedium zu weit geschädigt ist.

[0009] Es besteht daher das Bedürfnis, Beschädigungen an den thermischen Schutzschichten der Turbinenschaufeln rechtzeitig, d. h. möglichst noch im Stadium des Entstehens, zu erkennen. Traditionellerweise sind dazu in periodischen Abständen Inspektionen vorgesehen, bei denen die Gasturbine außer Betrieb genommen und zumindest teilweise auseinandergebaut wird, um die besonders gefährdeten Komponenten, insbesondere die Turbinenschaufeln, einer Sichtprüfung und ggf. weiteren materialtechnischen Untersuchungen zu unterziehen. Wegen der damit verbundenen kostspieligen Ausfallzeiten und der Montagearbeiten wurden verschiedene Verfahren zu einer so genannten Online- oder In-Situ-Überwachung während des Betriebs der Gasturbine vorgeschlagen, die, wenn sie die Notwendigkeit zur manuellen Inspektion schon nicht vollständig eliminieren können, doch zumindest die planmäßigen Wartungsintervalle verlängern sollen. In der Praxis hat sich jedoch die Realisierung derartiger Überwachungskonzepte häufig als aufwendig erwiesen. Zudem erfüllen einige der vorgeschlagenen Verfahren nicht die bezüglich ihrer Zuverlässigkeit in sie gesetzten Erwartungen.

[0010] So gibt es beispielsweise den Ansatz, die Turbinenschaufeln an ihrer Oberfläche mit einem feinmaschigen Netz dünner, elektrisch leitender Drähte zu überziehen. Auch mäanderförmig verlaufende Drahtschlingen sind möglich. Tritt eine Beschädigung der thermischen Schutzschicht auf, so wird eine Anzahl dieser Drähte im Bereich der Schadensstelle unterbrochen, was sich mit Hilfe eines an das Drahtnetz angeschlossenen Mess instrumentes feststellen lässt. Vergleichsweise aufwendig ist bei diesem Konzept jedoch das Einbringen der Meldedrähte in die jeweilige Schutzschicht, das direkt während des Beschichtungsvorganges zu erfolgen hat. Für eine Überwachung sämtlicher Turbinenschaufeln muss außerdem jede einzelne von ihnen mit dem beschriebenen Meldesystem ausgestattet sein. Eine Nachrüstung bestehender Altanlagen ist in der Regel nicht ohne einen kompletten Austausch der Turbinenschaufeln möglich.

[0011] Daneben stehen noch weitere Methoden und Konzepte zur Online-Überwachung von Gasturbinen zur Verfügung, wie etwa die Messung akustischer Emissionen, die Kontrolle von Schaufelschwingungen oder die Erfassung mechanischer Spannungszustände durch piezoelektrische Spannungssensoren. Diese Verfahren sind jedoch für eine zuverlässige und genaue Erkennung oder Vorhersage von Beschädigungen an der thermischen Schutzschicht einzelner Turbinenschaufeln in der Regel nicht geeignet, da die Messergebnisse sich nur schwierig deuten lassen.

[0012] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Überwachung der Turbinenschaufeln einer Gasturbine anzugeben, das die Nachteile bereits bekannter Konzepte überwindet und auf möglichst einfache Weise eine zuverlässige Erkennung von Beschädigungen an der jeweiligen Schutzschicht während des Betriebs der Gasturbine ermöglicht. Außerdem soll eine mit geeigneten Mitteln für die Durchführung des Verfahrens ausgestattete Gasturbine angegeben werden.

[0013] Bezüglich des Verfahrens wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst, indem anhand einer Temperaturerhöhung des im Kühlmittelkanal einer Turbinenschaufel strömenden Kühlmittels, vorzugsweise Kühlluft, auf eine Beschädigung der thermischen Schutzschicht der Turbinenschaufel geschlossen wird.

[0014] Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass aus Gründen der Betriebssicherheit eine kontinuierliche Kontrolle der Integrität der thermischen Schutzschicht auf jeder einzelnen der Turbinenschaufeln wünschenswert ist, wobei einerseits möglichst die gesamte jeweilige Schaufeloberfläche erfasst werden sollte. Andererseits kann eine globale, d. h. auf die jeweilige Turbinenschaufel als Ganzes bezogene und nicht weiter örtlich aufgelöste Schadensmeldung (Schaufel beschädigt: ja/nein) durchaus ausreichend sein. Im Fall eines Alarmsignals, das auf ein Schadensereignis hindeutet, ist nämlich in der Regel ohnehin eine manuelle Inspektion oder Sichtprüfung der Turbinenschaufel vorgesehen, bei der sich Beschädigungen an der thermischen Schutzschicht vergleichsweise schnell lokalisieren lassen. Somit kann das Überwachungssystem für die jeweilige Turbinenschaufel derart ausgelegt sein, dass es zwar möglichst große Bereiche der Schutzschicht überwacht, im Schadensfall jedoch auf detaillierte Angaben zur Lage der Schadensstelle verzichtet.

[0015] Die Erfindung hat erkannt, dass im Falle einer Beschädigung der zur Temperaturisolierung einer Turbinenschaufel vorgesehenen Schutzschicht das Grundmaterial der Turbinenschaufel an dieser Stelle direkt dem heißen Arbeitsmedium ausgesetzt ist und sich dadurch stärker als unter den sonst üblichen Bedingungen erwärmt. Dies gilt auch in dem Fall, dass die Schutzschicht zwar noch nicht abgeplatzt ist, jedoch z. B. durch Oberflächenoxidation oder durch andere (Erosions-)Prozesse ihre wärmeisolierende Wirkung verloren hat, was eine Vorstufe einer nachfolgend auftretenden Beschädigung darstellen könnte. Durch die lokal erhöhte Temperatur an der Außenseite des Schaufelgrundmaterials stellt sich an dieser Stelle ein erhöhter Wärmestrom durch die Schaufelwand ins Schaufelinnere, d. h. insbesondere zu den innen liegenden Begrenzungsflächen der integrierten Kühlmittelkanäle, ein. Somit kommt es im Bereich der Schadensstelle zu einer erhöhten konvektiven Wärmeübertragung auf das in einem Kühlmittelkanal unterhalb der beschädigten Schaufeloberfläche vorbeiströmende Kühlmittel, wodurch sich dieses stärker als sonst üblich erwärmt. Diese Erwärmung kann nicht nur im unmittelbaren Bereich der Schadensstelle, sondern durch den konvektiven Wärmetransport innerhalb der Kühlmittelströmung auch noch weiter stromab nachgewiesen werden.

[0016] Die Erfindung geht also davon aus, dass im Umkehrschluss, bei Turbinenschaufeln, die im Inneren für eine effektive konvektive Kühlung und ggf. zur Versorgung von Filmkühlöchern mit einem weitläufigen System von Kühlmittelkanälen durchzogen sind, anhand einer unvorhergesehenen Temperaturerhöhung des (ab-)strömenden Kühlmittels besonders zuverlässig auf eine Beschädigung der thermischen Schutzschicht geschlossen werden kann. Dabei kann

die Überwachung der Kühlmitteltemperatur durch direkte Messung oder auf indirekte Weise anhand von mit der Temperaturerhöhung einhergehenden Sekundäreffekten, ggf. stromab von der Beschädigungsstelle, erfolgen. Weiterhin ist davon auszugehen, dass der Grad der Erwärmung mit der Abmessung der insgesamt beschädigten Fläche korreliert, was für eine sichere Beurteilung des Schadensausmaßes von Vorteil ist.

[0017] Um ein Fortschreiten der Beschädigung zu verhindern und das Betriebsrisiko zu minimieren, wird vorteilhafterweise ein Warnsignal ausgegeben und/oder eine automatische Lastreduzierung oder Abschaltung der Gasturbine eingeleitet, sobald eine Temperaturerhöhung des Kühlmittels festgestellt wird. Dabei kann beispielsweise die Temperatur des Kühlmittels oder eine daraus abgeleitete Größe als Funktion der Zeit aufgezeichnet werden. Da nach dem vorliegenden Verfahren nur Temperaturänderungen des Kühlmittels für die Diagnose von Beschädigungen an der Schutzschicht von Bedeutung sind, müssen die Temperaturmessgeräte nicht unbedingt auf eine absolute Temperaturskala geeicht sein. Das Warnsignal könnte z. B. ausgelöst werden, wenn während eines an sich gleichmäßigen und ausgeglichenen Betriebszustandes der Gasturbine eine Anstiegsflanke im Messsignal auftritt, oder falls die Kühlmitteltemperatur bzw. eine damit korrelierte Messgröße einen vom jeweiligen Betriebszustand der Gasturbine abhängigen Referenzwert überschreitet.

[0018] Werden mehrere Turbinenschaufeln einer Schaufelreihe einzeln überwacht, so kann auch ein wechselseitiger Vergleich der Messwerte vorgesehen sein, um festzustellen, ob eine einzelne Turbinenschaufel hinsichtlich der in ihrem Inneren vorliegenden Kühlmitteltemperatur gegenüber den anderen Turbinenschaufeln aus dem Rahmen fällt.

[0019] Vorzugsweise wird die lokale Temperatur des Kühlmittels direkt durch einen im Kühlmittelkanal angeordneten Temperatursensor, insbesondere ein Thermoelement, erfasst. Derartige Thermoelemente, die die Thermospannung an der Verbindungsstelle zweier verschiedener Metalle messen, sind nämlich in einem weiten Temperaturbereich, der nach oben erst bei ca. 1600 °C endet, funktionsfähig. Sie sind außerdem in ihrer Herstellung ausgesprochen preisgünstig.

[0020] Alternativ oder zusätzlich zur direkten Messung der Kühlmitteltemperatur können indirekte Messverfahren zum Einsatz kommen. So wird in einer bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens als Indikator für die Temperatur des im Schaufelinneren strömenden Kühlmittels die lokale Wandtemperatur der den Kühlmittelkanal umgebenden Schaufelwand durch einen in der Schaufelwand angeordneten Temperatursensor erfasst.

[0021] Alternativ dazu kann in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens als Indikator für die Temperatur des im Schaufelinneren strömenden Kühlmittels die lokale Oberflächentemperatur an einer Messstelle an der Außenseite der Schaufelwand ermittelt werden. Dies kann vorteilhafterweise dadurch erfolgen, dass die von einem der Messstelle zugeordneten Oberflächensegment der Schaufelwand emittierte Wärmestrahlung gemessen wird. Zu diesem Zweck kann ein auf die Messstelle bzw. das Oberflächensegment ausgerichteter berührungsloser optischer Sensor in Gestalt eines Pyrometers vorgesehen sein.

[0022] An dieser Stelle wird nochmals betont, dass das aufgrund einer lokal abgeplatzten thermischen Isolierschicht in stärkerem Maße als üblich erwärmte Kühlmittel beim Weiterströmen im Kühlmittelkanal die aufgenommene Wärme weitertransportiert, wobei ein Teil der transportierten (Überschuss-)Wärme in weiter stromabwärts gelegenen Bereichen wieder an die Schaufelwand abgegeben wird, sich dort durch Wärmeleitung ausbreitet und verteilt und schließlich an der Schaufeloberfläche vor allem als Wärmestrahlung emittiert wird. Die Messstelle, an der die Überwachung der Kühlmitteltemperatur erfolgt, braucht daher nicht mit der (potentiellen) Schadensstelle zusammenzufallen, sondern kann im Gegenteil von dieser räumlich getrennt und an einer festen, hinsichtlich ihrer Zugänglichkeit besonders geeigneten Position angeordnet sein, z. B. an der Schaufelspitze. Dabei ist es für eine Überwachung möglichst großer Bereiche der Schaufelblattoberfläche mit einer möglichst geringen Anzahl von Temperatursensoren von Vorteil, wenn diese möglichst weit stromabwärts im Kühlmittelkanal angeordnet sind. Analog sollte ein Pyrometer auf ein Oberflächensegment der Turbinenschaufel ausgerichtet sein, welches zu einem verhältnismäßig weit stromabwärts gelegenen Teilstück des Kühlmittelkanals korrespondiert.

[0023] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung, bei der sich die jeweilige Turbinenschaufel relativ zu einer Anzahl von für eine Messung der Wärmestrahlung vorgesehenen berührungslosen optischen Sensoren (Pyrometern) bewegt, wird anhand der dabei von den Sensoren aufgenommenen Daten auch eine Bestimmung des Schwingungszustandes der Turbinenschaufel vorgenommen. Dabei wird die Zeitspanne gemessen, den die Turbinenschaufel für das Passieren der im Umfang liegenden Sensoren benötigt. Weicht die gemessene Zeitspanne von der zu erwartenden Zeitspanne ab (diese ist durch die Frequenz der Drehbewegung und den Abstand der Sensoren gegeben), so ergibt sich daraus eine Auslenkung der Schaufel, insbesondere der Schaufelspitze, aus der Ruhelage, mithin die Schwingungsamplitude. Gemäß dem hier vorgestellten Konzept liefert der für die Messung der Wärmestrahlung notwendige optische Sensor auch die Daten zur Bestimmung des Schwingungszustandes. Mit anderen Worten: Ein (einziger) Sensor übt zwei Monitoringfunktionen aus.

[0024] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung erweist es sich bei einer im Wesentlichen offen gekühlten Turbinenschaufel, bei der zumindest ein Teilstrom des Kühlmittels aus einer Filmkühlöffnung in der Schaufeloberfläche abströmt und sich dabei mit dem die Gasturbine durchströmenden Arbeitsmedium vermischt, als vorteilhaft, dass der abströmende Teilstrom hinsichtlich seiner Temperatur überwacht wird.

[0025] Dazu kann ein Temperatursensor in einem der Austrittskanäle in der Nähe der Austrittsöffnung angeordnet

sein. In einer vorteilhaften Ausgestaltung wird jedoch durch einen im Vermischungsgebiet von Kühlmittel und Arbeitsmedium, d. h. außerhalb der Turbinenschaufel, angeordneten Temperatursensor die Temperatur des sich bildenden Gemischs erfasst. Dieses Verfahren erweist sich als besonders vorteilhaft, um mit einem einzigen am Gehäuse der Gasturbine oder an einer der Leitschaufeln (sprich: ortsfest) angeordneten Temperatursensor alle Laufschaufeln einer Laufschaufelreihe "während des Vorbeifluges" zu überwachen. Jede Laufschaufel wird also einmal pro Umdrehung der Turbinenwelle analysiert, wenn sie sich an dem ortsfest angeordneten Temperatursensor vorbeibewegt. Es ist daher je Laufschaufelreihe nur ein einziger für eine konvektive Temperaturmessung in der Mischungszone ausgelegter Temperatursensor mit hoher Zeitauflösung und geringer thermischer Trägheit erforderlich. Entsprechendes gilt auch für eine pyrometrische Ermittlung der Oberflächentemperatur der jeweiligen Turbinenschaufel. Dabei reicht es wie oben beschrieben aus, wenn das Pyrometer auf eine geeignete, lokal begrenzte Messstelle ausgerichtet ist. Ein orts aufgelöstes thermografisches Abbild der gesamten Schaufeloberfläche ist nicht erforderlich.

[0026] Entsprechendes gilt im Falle der Leitschaufeln einer Leitschaufelreihe, welche durch einen einzigen an der gegenüberliegenden Turbinenwelle oder an einer der benachbarten Laufschaufeln angeordneten konvektiven oder pyrometrischen Temperatursensor überwacht werden können.

[0027] Vorzugsweise wird das in die Turbinenschaufel eingeleitete Kühlmittel oder der Teilstrom davon vor dem Passieren des für die (direkte oder indirekte) Ermittlung der Kühlmitteltemperatur relevanten Abschnitts des Kühlmittelkanals oder vor dem Erreichen der Austrittsöffnung mäanderförmig durch das Schaufelinnere geführt. Dabei durchläuft ein einziger Hauptstrom von Kühlmittel auf seinem Weg durch das labyrinthisch geschwungene Kanalsystem nacheinander weite Bereiche unterhalb der Schaufeloberfläche und bekommt auf diese Weise auch den Einfluss von in Randzonen der Turbinenschaufel auftretenden Beschädigungen der Oberflächenschutzschicht zu spüren. Somit reicht ein einziges, abströmseitig positioniertes Überwachungssystem für die Kühlmitteltemperatur aus, um die Integrität der thermischen Schutzschicht auf der gesamten Schaufeloberfläche - und zwar sowohl auf der Druckseite als auch auf der Saugseite - zu überwachen.

[0028] Bezüglich der Gasturbine wird die genannte Aufgabe gelöst, indem eine Messvorrichtung für eine Temperaturüberwachung des im Kühlmittelkanal einer Turbinenschaufel strömenden Kühlmittels, vorzugsweise Kühlluft, vorgesehen ist. Dabei ist vorzugsweise ein mäanderförmig im Schaufelinneren der Turbinenschaufel verlaufender Kühlmittelkanal durch den Bereich des Schaufelkopfes geführt, wobei die Messvorrichtung zur Überwachung der Temperatur des Kühlmittels in diesem Bereich ausgelegt ist.

[0029] Das Kühlsystem für die Turbinenschaufeln kann in der Art einer geschlossenen Kühlung ausgelegt sein, bei der das Kühlmittel nach dem Durchströmen der jeweiligen Turbinenschaufel gesammelt und ggf. zwischengekühlt wird, um es anschließend zur Kühlung weiterer Turbinenkomponenten zu verwenden oder in einer den Wirkungsgrad steigenden Weise dem Verdichter der Gasturbine oder der Brennkammer zuzuführen. Es kann jedoch auch eine so genannte offene Schaufelkühlung vorgesehen sein, bei der eine Anzahl von im Schaufelinnern verlaufenden Kühlmittelkanälen in eine Anzahl von an der Schaufeloberfläche, insbesondere im Bereich des Schaufelkopfes oder der Schaufelspitze, angeordneten Austrittsöffnungen mündet. Dabei ist die Messvorrichtung vorzugsweise für eine Überwachung der lokalen Temperatur eines aus einer der Austrittsöffnungen abströmenden Teilstroms von Kühlmittel, der zuvor das weitverzweigte Labyrinthsystem innerhalb der Turbinenschaufel durchströmt hat, ausgelegt.

[0030] Die Gasturbine weist üblicherweise eine Anzahl von jeweils zu Leitschaufelreihen zusammengefassten Leitschaufeln und eine Anzahl von jeweils zu Laufschaufelreihen zusammengefassten Laufschaufeln auf. In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung ist einer Anzahl von Leitschaufelreihen jeweils eine an der Turbinenwelle der Gasturbine befestigte Messvorrichtung zugeordnet. Dabei nimmt die jeweilige Messvorrichtung bezüglich der axialen Ausdehnungsrichtung der Gasturbine die gleiche Position ein wie die Schaufelspitzen der ihr zugeordneten Leitschaufeln der jeweiligen Leitschaufelreihe. Da sich die Messvorrichtung während der Rotation der Turbinenwelle an den Schaufelspitzen bzw. Schaufelköpfen aller Leitschaufeln der Leitschaufelreihe vorbeibewegt, ist mit einem einzigen Sensor mit hoher Zeitauflösung die Überwachung der schaufelkopfseitigen Kühlmitteltemperatur für alle Leitschaufeln der Leitschaufelreihe während des Betriebes der Gasturbine ermöglicht.

[0031] Die Bemerkungen gelten sinngemäß auch für die Laufschaufeln einer Laufschaufelreihe, die durch eine einzige am Gehäuse der Gasturbine angeordnete Messvorrichtung zur Erfassung von Temperaturänderungen des durch den jeweiligen Schaufelkopf strömenden oder von ihm abströmenden Kühlmittels überwacht werden können.

[0032] Vorzugsweise ist jeder der Leitschaufelreihen und/oder jeder der Laufschaufelreihen der Gasturbine eine derartige Messvorrichtung zugeordnet, so dass sich mit ausgesprochen geringem Aufwand etwaige Beschädigungen an sämtlichen Turbinenschaufeln einzeln diagnostizieren lassen.

[0033] In einer besonders bevorzugten Variante, bei der die Turbinenschaufeln - Laufschaufeln und/oder Leitschaufeln - jeweils eine zur Schaufelspitzenkühlung vorgesehene Austrittsöffnung für Kühlmittel im Bereich der Schaufelspitze aufweisen, ist die der jeweiligen Lauf- bzw. Leitschaufelreihe zugeordnete Messvorrichtung für eine Messung der Temperatur des Arbeitsmedium-Kühlluft-Gemisches im Spalt zwischen dem Turbinengehäuse und den Laufschaufelspitzen bzw. im Spalt zwischen der Turbinenwelle und den Leitschaufelspitzen ausgelegt.

[0034] In einer bevorzugten Alternativausführung umfasst die Messvorrichtung im Falle der Laufschaufeln jeweils ein

in radialer Richtung nach innen zur Turbinenwelle oder im Falle der Leitschaufeln jeweils ein in radialer Richtung nach außen zum Turbinengehäuse ausgerichtetes Pyrometer, das die Oberflächentemperatur an den sich vorbeibewegenden Schaufelspitzen misst. Derartige Pyrometer (Strahlungsthermometer) zeichnen sich in der Regel durch eine hohe Zeitauflösung aus und sind daher für eine Erfassung der Oberflächentemperatur von an ihnen vorbeibewegten Objekten besonders gut geeignet, insbesondere im Hochtemperaturbereich ab ca. 650 °C.

[0035] In einer weiteren Alternativausführung umfasst jede der zu überwachenden Turbinenschaufeln einen im Kühlmittelkanal oder in der den Kühlmittelkanal umgebenden Schaufelwand angeordneten Temperatursensor, insbesondere ein vergleichsweise kostengünstiges Thermoelement. Damit ist ein besonders genaues Online-Monitoring einzelner Turbinenschaufeln ermöglicht.

[0036] Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass bei besonders geringem apparativen Aufwand und bei einem in seiner Komplexität besonders einfach gehaltenem Auswerteverfahren eine zuverlässige Überwachung der Integrität thermischer Schutzschichten auf einzelnen Turbinenschaufeln einer Gasturbine erreicht wird. Dabei wird anhand eines sekundären Effektes, nämlich einer Temperaturerhöhung des im Kühlmittelkanal der jeweiligen Turbinenschaufel strömenden Kühlmittels, eine einsetzende Beschädigung der thermischen Schutzschicht während des Betriebs der Gasturbine ("online" bzw. "in situ") diagnostiziert, so dass rechtzeitig und bedarfsgerecht vor dem Erreichen eines katastrophalen Schadensausmaßes Gegenmaßnahmen, wie z. B. Austausch oder Reparatur der beschädigten Turbinenschaufel, eingeleitet werden können. Die durch das Überwachungsverfahren bereitgestellten Informationen tragen somit wirkungsvoll zu einer erhöhten Betriebssicherheit bei, auch und insbesondere bei im Interesse eines hohen Wirkungsgrades vergleichsweise hohen Turbineneintrittstemperaturen.

[0037] Verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

FIG 1 einen Halbschnitt durch eine Gasturbine,

FIG 2 einen Ausschnitt aus einem Längsschnitt der Gasturbine nach FIG 1 mit der Darstellung von offen gekühlten Turbinenschaufeln einer Turbinenstufe und einer Vorrichtung zur Überwachung thermischer Schutzschichten auf den Turbinenschaufeln,

FIG 3 eine offen gekühlte Turbinenschaufel mit einer auf alternative Weise ausgeführten Überwachungsvorrichtung, und

FIG 4 eine geschlossen gekühlte Turbinenschaufel.

[0038] Gleiche Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0039] Die Gasturbine 1 gemäß FIG 1 weist einen Verdichter 2 für Verbrennungsluft, eine Brennkammer 4 sowie eine Turbine 6 zum Antrieb des Verdichters 2 und eines nicht dargestellten Generators oder einer Arbeitsmaschine auf. Dazu sind die Turbine 6 und der Verdichter 2 auf einer gemeinsamen, auch als Turbinenläufer bezeichneten Turbinenwelle 8 angeordnet, mit der auch der Generator bzw. die Arbeitsmaschine verbunden ist, und die um ihre Mittelachse 9 drehbar gelagert ist.

[0040] Die Brennkammer 4 ist mit einer Anzahl von Brennern 10 zur Verbrennung eines flüssigen oder gasförmigen Brennstoffs bestückt. Sie ist weiterhin an ihrer Innenwand mit nicht näher dargestellten Hitzeschildelementen versehen.

[0041] Die Turbine 6 weist eine Anzahl von mit der Turbinenwelle 8 verbundenen, rotierbaren Laufschaufeln 12 auf. Die Laufschaufeln 12 sind kranzförmig an der Turbinenwelle 8 angeordnet und bilden somit eine Anzahl von Laufschaufelreihen. Weiterhin umfasst die Turbine 6 eine Anzahl von feststehenden Leitschaufeln 14, die ebenfalls kranzförmig unter der Bildung von Leitschaufelreihen an einem Innengehäuse 16 der Turbine 6 befestigt sind. Die Laufschaufeln 12 dienen dabei zum Antrieb der Turbinenwelle 8 durch Impulsübertrag vom die Turbine 6 durchströmenden Arbeitsmedium M. Die Leitschaufeln 14 dienen hingegen zur Strömungsführung des Arbeitsmediums M zwischen jeweils zwei in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums M gesehen aufeinander folgenden Laufschaufelreihen oder Laufschaufelkränzen. Ein aufeinander folgendes Paar aus einem Kranz von Leitschaufeln 14 oder einer Leitschaufelreihe und aus einem Kranz von Laufschaufeln 12 oder einer Laufschaufelreihe wird dabei auch als Turbinenstufe bezeichnet.

[0042] Jede Leitschaufel 14 weist eine auch als Schaufelfuß bezeichnete Plattform 18 auf, die zur Fixierung der jeweiligen Leitschaufel 14 am Innengehäuse 16 der Turbine 6 als Wandelement angeordnet ist. Die Plattform 18 ist dabei ein thermisch vergleichsweise stark belastetes Bauteil, das die äußere Begrenzung eines Heißgaskanals für das die Turbine 6 durchströmende Arbeitsmedium M bildet. Jede Laufschaufel 12 ist in analoger Weise über einen Schaufelfuß 19 an der Turbinenwelle 8 befestigt, wobei der Schaufelfuß 19 jeweils ein entlang einer Schaufelachse erstrecktes profiliertes Schaufelblatt 20 trägt.

[0043] Zwischen den beabstandet voneinander angeordneten Plattformen 18 der Leitschaufeln 14 zweier benachbarter Leitschaufelreihen ist jeweils ein Führungsring 21 am Innengehäuse 16 der Turbine 6 angeordnet. Die äußere

Oberfläche jedes Führungsrings 21 ist dabei ebenfalls dem heißen, die Turbine 6 durchströmenden Arbeitsmedium M ausgesetzt und in radialer Richtung vom äußeren Ende der ihm gegenüber liegenden Laufschaufel 12 durch einen Spalt beabstandet. Die zwischen benachbarten Leitschaufelreihen angeordneten Führungsringe 21 dienen dabei insbesondere als Abdeckelemente, die das Innengehäuse 16 oder andere Gehäuse-Einbauteile vor einer thermischen Überbeanspruchung durch das die Turbine 6 durchströmende heiße Arbeitsmedium M schützen.

[0044] Zur Erzielung eines vergleichsweise hohen Wirkungsgrades ist die Gasturbine 1 für eine vergleichsweise hohe Austrittstemperatur des aus der Brennkammer 4 austretenden Arbeitsmediums M von etwa 1200 °C bis 1300 °C ausgelegt. Um dies zu ermöglichen, sind zumindest die besonders stark belasteten Turbinenschaufeln 12, 14 der ersten Turbinenstufe an ihrer Oberfläche mit einer als TBC-Schutzschicht bekannten thermischen Schutzschicht 23 aus einem keramischen Werkstoff versehen. Zudem sind die Turbinenschaufeln 12, 14 kühlbar ausgeführt, wobei bei der in FIG 2 gezeigten Konfiguration eine so genannte offene Kühlung realisiert ist, bei der die zur Kühlung verwendete Kühlluft K nach dem Durchströmen der jeweiligen Turbinenschaufel 12, 14 aus an ihrer Oberfläche angeordneten Austrittsöffnungen 25, 26 abströmt und sich mit dem im Strömungskanal 27 zwischen Innengehäuse 16 und Turbinenwelle 8 strömenden Arbeitsmedium M vermischt.

[0045] Die Bespeisung der Turbinenschaufeln mit Kühlluft K erfolgt jeweils durch die Plattform 18 bzw. den Schaufelfuß 19, wobei ein vorgeschalteter Zufuhrkanal im Falle der Laufschaufeln 12 in hier nicht näher dargestellter Weise in die Turbinenwelle 8 integriert ist. Im Falle der Leitschaufeln 14 erfolgt die Kühlluftzufuhr durch die Wandelemente des Innengehäuses 16. Nach dem Eintritt in die jeweilige Turbinenschaufel 12, 14 wird die Kühlluft K durch einen mäanderförmig in ihrem Inneren verlaufenden Kühlmittelkanal 29 geführt, was hier nur schematisch angedeutet ist. Von dem Kühlmittelkanal 29 zweigen Teilkanäle zur Versorgung der im Bereich der Vorderkante und der Hinterkante des Schaufelprofils angeordneten Austrittsöffnungen 25, die als Filmkühllöcher ausgebildet sind, ab. Die restliche Kühlluft K tritt am Ende des Labyrinths aus einer am Schaufelkopf 34 angeordneten Austrittsöffnung 26 aus, wodurch auch dieser Bereich gekühlt wird. Der Schaufelkopf 34 kann in Form einer Schaufelspitze ausgeführt sein oder auch eine abgeflachte Deckplatte aufweisen.

[0046] Beim Durchströmen des Labyrinthpfades innerhalb der jeweiligen Turbinenschaufel 12, 14 erwärmt sich die Kühlluft K. Der aus der schaufelkopfseitigen Austrittsöffnung 26 abströmende Teilstrom vermischt sich anschließend mit der Spitzenströmung des Arbeitsmediums M. Dadurch stellt sich im Vermischungsgebiet 36, d. h. vor allem im Spalt 38 zwischen der jeweiligen Schaufelspitze und der Turbinenwelle 8 (im Falle einer Leitschaufel 14) bzw. zwischen der jeweiligen Schaufelspitze und dem Innengehäuse 16 (im Falle einer Laufschaufel 12), eine Mischtemperatur ein. Dementsprechend nimmt im Allgemeinen auch die Oberflächentemperatur an der Schaufelspitze der jeweiligen Turbinenschaufel 12, 14 einen zeitlich konstanten mittleren Wert an, sofern ein stationärer und thermisch ausgeglichener Betriebszustand der Gasturbine 1 vorliegt.

[0047] Tritt jedoch im Laufe des Betriebs eine Beschädigung an der thermischen Schutzschicht 23 der Turbinenschaufel 12, 14 auf, so erwärmt sich die in ihrem Inneren strömende Kühlluft K aufgrund des im Bereich der Schadensstelle 40 vergrößerten Wärmeübergangs über das übliche Maß.

[0048] Zur Erfassung einer derartigen Temperaturerhöhung ist eine Anzahl von Messvorrichtungen 42, 42', 42'' vorgesehen. Dabei lässt sich unter der Voraussetzung einer genügend hohen Zeitauflösung mit je einer Messvorrichtung 42, 42', 42'' je Laufschaufelreihe und/oder je Leitschaufelreihe eine Überwachung aller der jeweiligen Schaufelreihe zugeordneten Turbinenschaufeln 12, 14 während des durch die Rotation der Turbinenwelle 8 bedingten "Vorbeiflugs" erreichen. Die für die Überwachung der Laufschaufeln 12 zuständige Messvorrichtung 42' ist nämlich den Schaufelspitzen der sich an ihr vorbeibewegenden Laufschaufeln 12 gegenüberliegend am feststehenden Innengehäuse 16, insbesondere an einem Führungsring 21, der Turbineneinheit angeordnet. Die Messvorrichtung 42' kann dabei als Temperatursensor für eine konvektive Temperaturmessung im Vermischungsgebiet 36 von dem die Gasturbine 1 durchströmenden Arbeitsmedium M und der jeweils aus dem Schaufelkopf 34 der Laufschaufel 12 abströmenden Kühlluft K ausgeführt sein. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist jedoch für eine indirekte Überwachung der Kühlmitteltemperatur im Abströmbereich eine berührungslose Messung der Oberflächentemperatur am Schaufelkopf 34 mittels eines Pyrometers 43 vorgesehen. Die Sensoreinheit des der Laufschaufelreihe zugeordneten Pyrometers ist daher radial nach innen ausgerichtet. Ganz analog ist zur Überwachung der Leitschaufeln 14 einer Leitschaufelreihe eine Messvorrichtung 42'' mit einem radial nach außen gerichteten Pyrometer 43 am äußeren Umfang der Turbinenwelle 8 angeordnet.

[0049] Die in FIG 3 dargestellte Turbinenschaufel ist bzgl. des zur Schaufelkühlung vorgesehenen Systems von integrierten Kühlmittelkanälen 29 wie die bislang beschriebene Turbinenschaufel ausgeführt. Bei der hier gezeigten Variante zur Überwachung der thermischen Schutzschicht 23 der Turbinenschaufel erfolgt allerdings eine direkte Messung der abströmseitigen Kühlmitteltemperatur am Schaufelkopf 34 durch ein am Ende des Labyrinthpfades in der Nähe der Austrittsöffnung 26 im Kühlmittelkanal 29 eingebrachtes Thermoelement 44.

[0050] Ein derartiges Thermoelement 44 ist auch bei der in FIG 4 gezeigten Turbinenschaufel zur Messung der Kühlmitteltemperatur nach dem Durchströmen des mäanderförmig im Schaufelinneren verlaufenden Kühlmittelkanals 29 vorgesehen. Im Unterschied zu den vorherigen Ausführungsbeispielen handelt es sich bei der hier gezeigten Turbinenschaufel um eine geschlossen gekühlte Turbinenschaufel, bei der die durch den Schaufelfuß 19 abströmende Kühlluft

K nach einer gegebenenfalls vorgesehenen Zwischenkühlung weiteren Turbinenschaufeln der nachfolgenden Turbinenstufen zugeführt wird. Daher ist das Thermoelement 44 nicht wie bisher im Bereich des Schaufelkopfes 34 positioniert, sondern in der Nähe des Kühlluftauslasses im Schaufelfuß 19. Auf diese Weise lässt sich der Einfluss von Beschädigungen der thermischen Schutzschicht 23, die an irgendeiner Stelle der Schaufelblattoberfläche auftreten könnten, mit einem einzigen Temperatursensor besonders einfach und präzise erfassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Betriebsüberwachung einer Gasturbine (1) mit einer Anzahl von jeweils eine thermische Schutzschicht (23), insbesondere eine TBC-Schutzschicht, aufweisenden und mit jeweils mindestens einem integrierten Kühlmittelkanal (29) versehenen Turbinenschaufeln (12, 14), bei dem anhand einer Temperaturerhöhung des im Kühlmittelkanal (29) einer Turbinenschaufel (12, 14) strömenden Kühlmittels (K), vorzugsweise Kühlluft, auf eine Beschädigung der thermischen Schutzschicht (23) der Turbinenschaufel (12, 14) geschlossen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ein Warnsignal ausgegeben wird und/oder eine automatische Lastreduzierung oder Abschaltung der Gasturbine (1) eingeleitet wird, sobald eine Temperaturerhöhung des Kühlmittels (K) festgestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die lokale Temperatur des Kühlmittels (K) direkt durch einen im Kühlmittelkanal (29) angeordneten Temperatursensor, insbesondere ein Thermoelement (44), erfasst wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem als Indikator für die Temperatur des im Schaufelinneren strömenden Kühlmittels (K) die lokale Wandtemperatur der den Kühlmittelkanal (29) umgebenden Schaufelwand durch einen in der Schaufelwand angeordneten Temperatursensor erfasst wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem als Indikator für die Temperatur des im Schaufelinneren strömenden Kühlmittels (K) die lokale Oberflächentemperatur an einer Messstelle an der Außenseite der Schaufelwand ermittelt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die von einem der Messstelle zugeordneten Oberflächensegment der Schaufelwand emittierte Wärmestrahlung gemessen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem sich die Turbinenschaufel (12, 14) relativ zu einer Anzahl von für eine Messung der Wärmestrahlung vorgesehenen berührungslosen optischen Sensoren bewegt, wobei anhand der dabei von den Sensoren aufgenommenen Daten auch eine Bestimmung des Schwingungszustandes der Turbinenschaufel (12, 14) vorgenommen wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem zumindest ein Teilstrom des Kühlmittels (K) aus einer Austrittsöffnung (25, 26) in der Schaufeloberfläche abströmt und sich mit dem die Gasturbine (1) durchströmenden Arbeitsmedium (M) vermischt, wobei dieser Teilstrom hinsichtlich seiner Temperatur überwacht wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem durch einen im Vermischungsgebiet (36) von Kühlmittel (K) und Arbeitsmedium (M) angeordneten Temperatursensor die Temperatur des sich bildenden Gemischs erfasst wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem das in die Turbinenschaufel (12, 14) eingeleitete Kühlmittel (K) oder der Teilstrom davon vor dem Passieren des für die Ermittlung der Kühlmitteltemperatur relevanten Abschnitts des Kühlmittelkanals (29) oder vor dem Erreichen der Austrittsöffnung (25, 26) mäanderförmig durch das Schaufelinnere geführt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem der für die Ermittlung der Temperatur des Kühlmittels (K) relevante Abschnitt des Kühlmittelkanals (29) oder die Austrittsöffnung (26) im Bereich des Schaufelkopfes (34) positioniert ist.
12. Gasturbine (1) mit einer Anzahl von jeweils eine thermische Schutzschicht (23), insbesondere eine TBC-Schutzschicht, aufweisenden und mit jeweils mindestens einem integrierten Kühlmittelkanal (29) versehenen Turbinenschaufeln (12, 14), wobei eine Messvorrichtung (42, 42', 42'') für eine Temperaturüberwachung des im Kühlmittelkanal (29) einer Turbinenschaufel (12, 14) strömenden Kühlmittels (K), vorzugsweise Kühlluft, vorgesehen ist.

13. Gasturbine (1) nach Anspruch 12, bei der ein mäanderförmig im Schaufelinneren der Turbinenschaufel (12, 14) verlaufender Kühlmittelkanal (29) durch den Bereich des Schaufelkopfes (34) geführt ist, wobei die Messvorrichtung (42, 42', 42'') für die Überwachung der Temperatur des Kühlmittels (K) in diesem Bereich ausgelegt ist.

14. Gasturbine (1) nach Anspruch 13, bei der der Kühlmittelkanal (29) in eine Anzahl von am Schaufelkopf (34) angeordneten Austrittsöffnungen (26) mündet, wobei die Messvorrichtung (42, 42', 42'') für die Überwachung der lokalen Temperatur eines aus einer Austrittsöffnung (26) abströmenden Teilstroms von Kühlmittel (K) ausgelegt ist.

15. Gasturbine (1) nach Anspruch 13 oder 14 mit einer Anzahl von jeweils zu Leitschaufelreihen zusammengefassten Leitschaufeln (14) und mit einer Anzahl von jeweils zu Laufschaufelreihen zusammengefassten Laufschaufeln (12) sowie mit einer Anzahl von an der Turbinenwelle (8) der Gasturbine (1) angeordneten, jeweils einer der Leitschaufelreihen zugeordneten Messvorrichtungen (42'') zur Überwachung der Temperatur des die Leitschaufeln (14) der jeweiligen Leitschaufelreihe durchströmenden Kühlmittels (K), wobei die jeweilige Messvorrichtung (42'') bezüglich der axialen Ausdehnungsrichtung der Gasturbine (1) die gleiche Position einnimmt wie die Schaufelspitzen der ihr zugeordneten Leitschaufeln (14).

16. Gasturbine (1) nach einem der Ansprüche 13 bis 15 mit einer Anzahl von jeweils zu Leitschaufelreihen zusammengefassten Leitschaufeln (14) und mit einer Anzahl von jeweils zu Laufschaufelreihen zusammengefassten Laufschaufeln (12) sowie mit einer Anzahl von innenseitig am Innengehäuse (16) der Gasturbine (1) angeordneten, jeweils einer der Laufschaufelreihen zugeordneten Messvorrichtungen (42') zur Überwachung der Temperatur des die Laufschaufeln (12) der jeweiligen Laufschaufelreihe durchströmenden Kühlmittels (K), wobei die jeweilige Messvorrichtung (42') bezüglich der axialen Ausdehnungsrichtung der Gasturbine (1) die gleiche Position einnimmt wie die Schaufelspitzen der ihr zugeordneten Laufschaufeln (12).

17. Gasturbine (1) nach Anspruch 15 oder 16, bei der jeder Leitschaufelreihe und/oder jeder Laufschaufelreihe jeweils mindestens eine Messvorrichtung (42, 42', 42'') zugeordnet ist.

18. Gasturbine (1) nach einem der Ansprüche 15 bis 17, wobei die jeweilige Messvorrichtung (42, 42', 42'') einen Temperatursensor für eine Messung der Temperatur des Arbeitsmedium-Kühlluft-Gemisches im Spalt zwischen dem Innengehäuse (16) und den Schaufelspitzen der zu einer der Laufschaufelreihen zusammengefassten Laufschaufeln (12) oder im Spalt (38) zwischen der Turbinenwelle (8) und den Schaufelspitzen der zu einer der Leitschaufelreihen zusammengefassten Leitschaufeln (14) umfasst.

19. Gasturbine (1) nach Anspruch 18, wobei die Messvorrichtung (42, 42', 42'') im Falle der Laufschaufeln (12) jeweils ein in radialer Richtung nach innen zur Turbinenwelle (8) oder im Falle der Leitschaufeln (14) jeweils ein in radialer Richtung nach außen zum Turbinengehäuse ausgerichtetes Pyrometer (43) umfasst.

20. Gasturbine (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 19 mit einem im Kühlmittelkanal (29) der Turbinenschaufel (12, 14) oder in der den Kühlmittelkanal (K) umgebenden Schaufelwand angeordneten Temperatursensor, insbesondere einem Thermoelement (44).

FIG 1

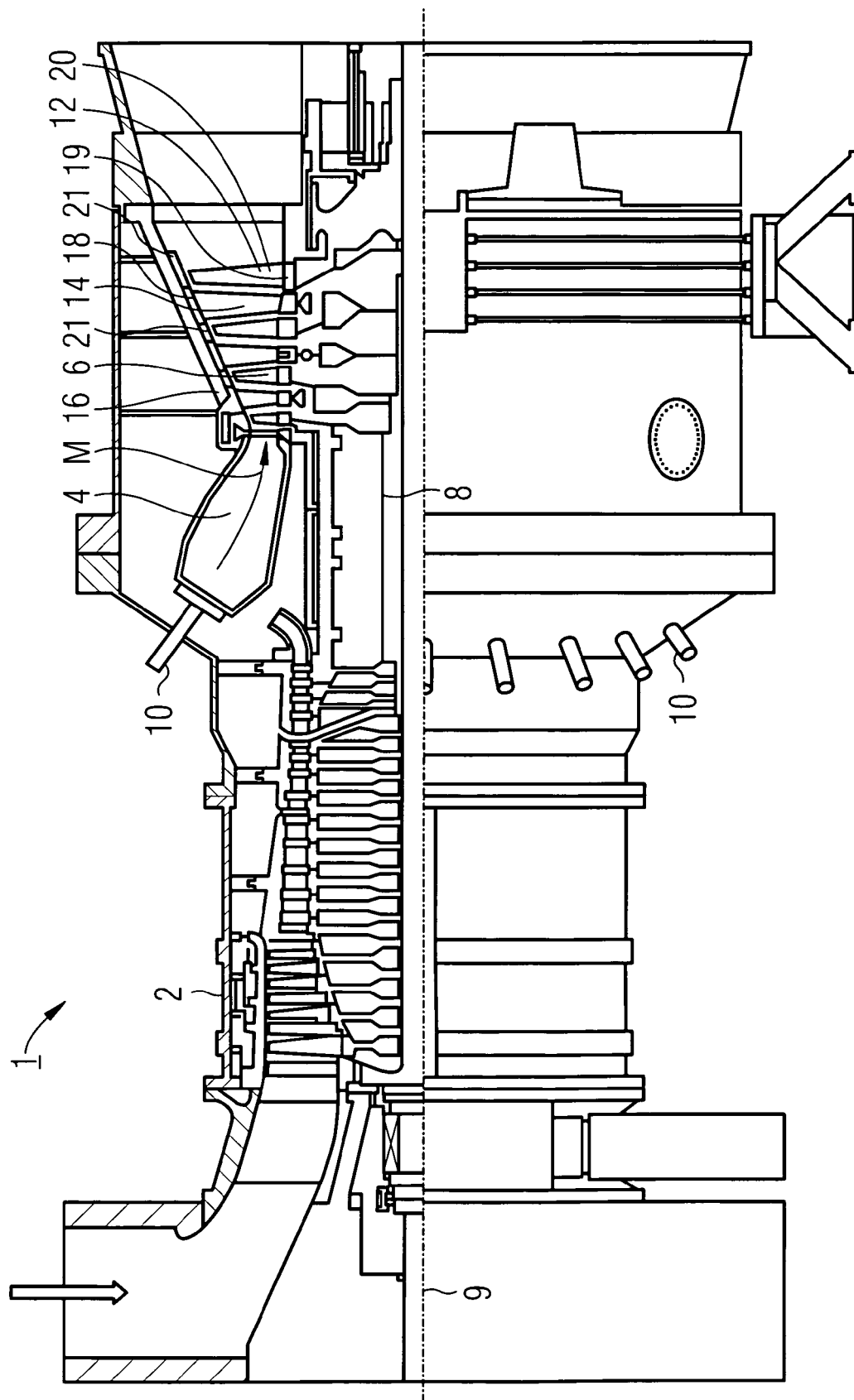


FIG 2

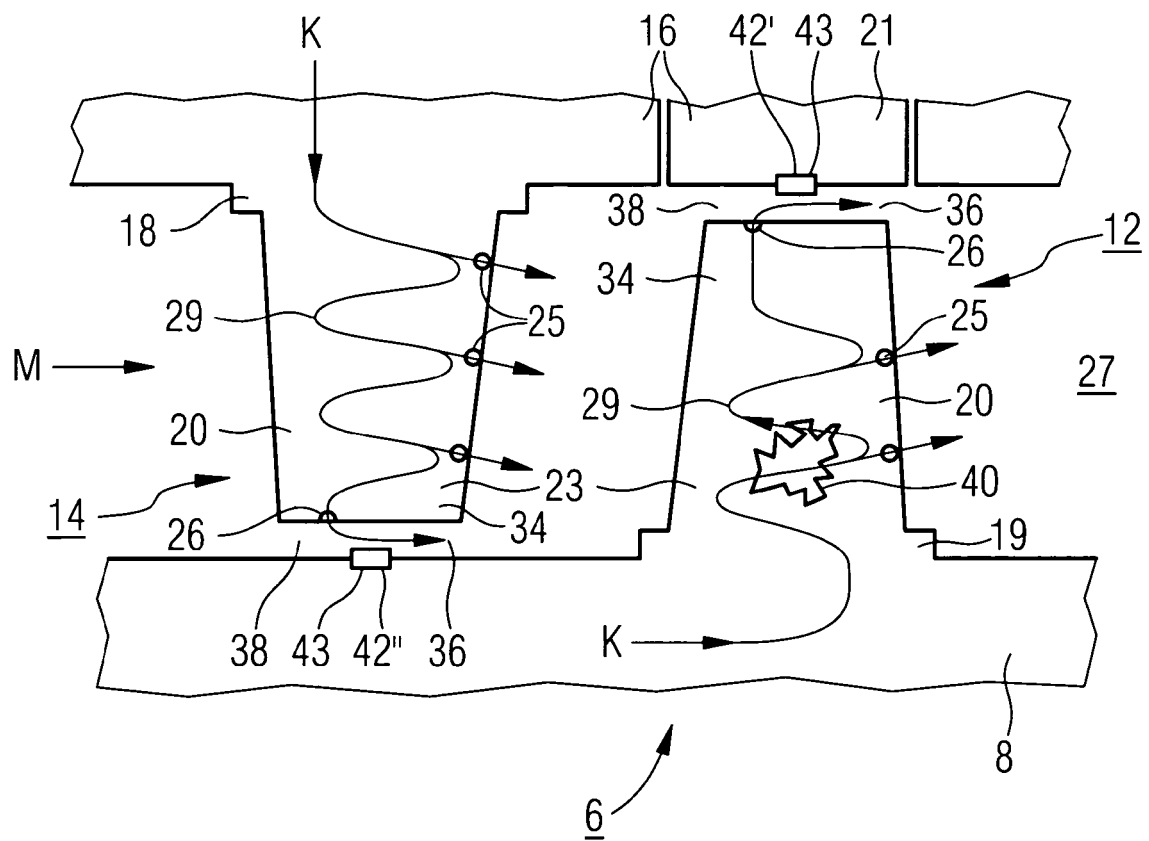


FIG 3

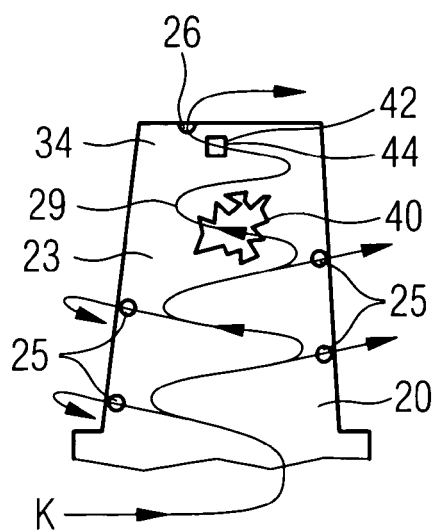
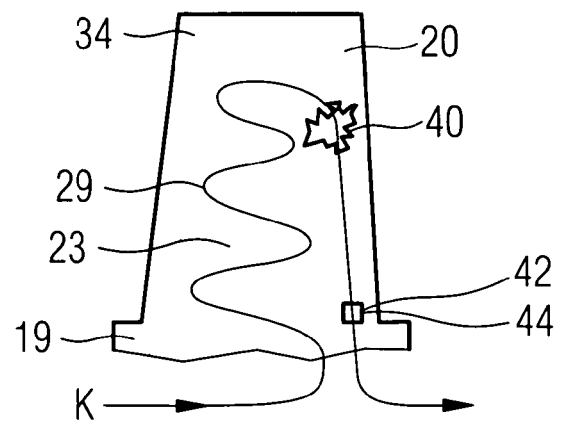


FIG 4





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 05 00 4366

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 6 200 088 B1 (ZOMBO PAUL J ET AL) 13. März 2001 (2001-03-13) * Spalte 2, Zeile 5 - Zeile 62 * * Spalte 3, Zeile 51 - Spalte 5, Zeile 46 * * Zusammenfassung; Abbildungen * -----	1-4, 8-18,20	F01D5/18 F01D5/28 F01D21/12 F01D17/08
X	WO 01/46660 A (SIEMENS WESTINGHOUSE POWER CORPORATION) 28. Juni 2001 (2001-06-28) * Seite 1 * * Seite 4 - Seite 5 * * Seite 8 - Seite 9 * * Seite 11 - Seite 14 * * Zusammenfassung; Ansprüche 3,7-9; Abbildungen * -----	1,2,4-7, 12,13, 17,19	
X	AMORY D C ET AL: "IMPROVING GAS TURBINE EFFICIENCY USING OPTICAL PYROMETRY" TURBOMACHINERY INTERNATIONAL, BUSINESS JOURNALS, NORWALK, CT, US, Bd. 45, Nr. 1, Januar 2004 (2004-01), Seiten 22-24, XP001190994 ISSN: 0149-4147	1,4-7,12	
A	* das ganze Dokument *	17-19	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 1997, Nr. 06, 30. Juni 1997 (1997-06-30) & JP 09 053463 A (TOSHIBA CORP), 25. Februar 1997 (1997-02-25) * Zusammenfassung * ----- -/--	1,4-7, 12,20	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 28. Juli 2005	Prüfer O'Shea, G
KATEGORIE DER GENANNTE 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			

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 05 00 4366

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	DE 197 36 276 A1 (ABB RESEARCH LTD., ZUERICH, CH) 25. Februar 1999 (1999-02-25) * Spalte 3, Zeile 15 - Zeile 24 * * Spalte 7, Zeile 36 - Spalte 9, Zeile 48 * * Spalte 10, Zeile 35 - Zeile 52 * * Zusammenfassung; Abbildungen *	1,2,4-7, 12,15-19	
A	EP 0 493 111 A (UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION) 1. Juli 1992 (1992-07-01) * Seite 3, Zeile 31 - Seite 4, Zeile 11 * * Seite 5, Zeile 41 - Zeile 48 * * Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 *	2,17,18	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 28. Juli 2005	Prüfer O'Shea, G
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	

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 05 00 4366

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.

28-07-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6200088 B1	13-03-2001	US 6062811 A	16-05-2000
WO 0146660 A	28-06-2001	EP 1240486 A1	18-09-2002
		WO 0146660 A1	28-06-2001
JP 09053463 A	25-02-1997	KEINE	
DE 19736276 A1	25-02-1999	CN 1210256 A ,C	10-03-1999
		EP 0898158 A2	24-02-1999
		JP 11142247 A	28-05-1999
		US 6109783 A	29-08-2000
EP 0493111 A	01-07-1992	US 5157914 A	27-10-1992
		DE 69107988 D1	13-04-1995
		DE 69107988 T2	02-11-1995
		EP 0493111 A1	01-07-1992
		JP 3100723 B2	23-10-2000
		JP 4292530 A	16-10-1992
		US 5224332 A	06-07-1993

EPO FORM P0461

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