



(11)

EP 1 959 096 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
01.10.2014 Patentblatt 2014/40

(51) Int Cl.:
F01D 5/18 ^(2006.01) **F01D 25/12** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08151497.8**

(22) Anmeldetag: **15.02.2008**

(54) Verfahren zur Prallluftkühlung für Gasturbinen

Method for impingement cooling for gas turbines

Procédé de refroidissement d'un élément d'une turbomachine par jet

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB

(30) Priorität: **16.02.2007 DE 102007008319**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
20.08.2008 Patentblatt 2008/34

(73) Patentinhaber: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)

(72) Erfinder:
• **Dr. Timm, Janetzke**
14195, Berlin (DE)
• **Prof. Dr. Wolfgang NITSCHKE**
14728, Neuwerder (DE)
• **Dr. Matthias, Reyer**
13587, Berlin (DE)
• **Dr. Frank, HASELBACH**
Melbourne, Derbyshire DE73 8LX (GB)

• **Dr. Erik, JANKE**
12307, Berlin (DE)
• **Jens, TÄGE**
15566, Schöneiche (DE)

(74) Vertreter: **Gross, Felix**
Patentanwälte Maikowski & Ninnemann
Kurfürstendamm 54-55
10707 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-99/67539 US-A- 6 053 203

• **MLADIN E-C ET AL: "Alterations to coherent flow structures and heat transfer due to pulsations in an impinging air-jet", INTERNATIONAL JOURNAL OF THERMAL SCIENCES, EDITIONS ELSEVIER, PARIS, FR, Bd. 39, Nr. 2, 1. Februar 2000 (2000-02-01), Seiten 236-248, XP004271227, ISSN: 1290-0729, DOI: 10.1016/S1290-0729(00)00242-8**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 959 096 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Prallluftkühlung für Gasturbinen, bei dem Kühlluft über in einer Trennwand ausgebildete Prallluftöffnungen in separaten Kühlluftstrahlen auf den zu kühlenden Wandbereich prallt.

[0002] Bei Gasturbinentriebwerken und stationären Gasturbinen ist es bekannt, die stark erwärmten Komponenten im Bereich der Turbine wie Rotorscheaufeln, Leitschaufeln, Liner oder Brennkammerwände mit einem Teil der Kompressorluft mittels Prallluft zu kühlen. Bei der Prallluftkühlung gelangt die Kühlluft als stetiger Luftstrahl über relativ kleine Prallkühlbohrungen auf die zu kühlende Fläche. Aufgrund des starken Druckabfalls in den Prallkühlbohrungen wird jeweils ein kräftiger Luftstrahl ausgebildet, der jeweils in einem örtlich begrenzten Bereich der zu kühlenden wandfläche einen hohen Wärmeübergang bewirkt. Die Prallluftkühlung hat sich zwar als eines der effektivsten Verfahren zur Innenkühlung bei Gasturbinen bewährt, jedoch hat es nicht an Versuchen gefehlt, dieses Kühlprinzip weiter zu verbessern.

[0003] Gemäß der EP 0 892 151 A1 wird ein in der Vorderkante einer Turbinenschaufel ausgebildeter Kanal über Kühlbohrungen aus einem mit Kühlluft versorgten Hauptkanal mit Prallluft beaufschlagt und über die Schaufelhöhe längsdurchströmt. Eine optimale Kühlwirkung der Prallluftstrahlen wird auf diese Weise nicht erreicht. Demgegenüber offenbart die EP 0 698 724 B1 eine spezielle Schaufelausbildung zur Prallluftkühlung der Hinterkante einer Turbinenschaufel, mit der die durch Querströme in den Prallkühlluftströmen verminderte Kühlwirkung der Prallluft verbessert werden soll. Die EP 0 889 201 A1 schlägt eine spezifische Form der zu kühlenden Wandfläche vor, um die Kühlwirkung der Prallluftstrahlen zu erhöhen.

[0004] Bei einem Kühlsystem für die Turbinenschaufeln einer Gasturbine, das nicht auf dem Prinzip der Prallkühlung beruht, ist es weiterhin bekannt, die Kühlluft mit Hilfe eines Strömungssoszillators mit einer vorgegebenen Frequenz intermittierend in die zu kühlende Turbinenschaufel einzubringen und den pulsierenden Luftstrom nach dem Passieren der in der Schaufel ausgebildeten Kammern durch Öffnungen in der Schaufelhinterkante und der Schaufeloberkante wieder nach außen zu führen. Die Pulsation der Luft anstelle einer stetigen Luftzufuhr in das Schaufelinnere soll die konvektive Wärmeübertragung und damit die Kühlwirkung der zugeführten Kühlluft verbessern.

[0005] Aus MLADIN E-C ET AL: "Alterations to coherent flow structures and heat transfer due to pulsations in an impinging air-jet", INTERNATIONAL JOURNAL OF THERMAL SCIENCES, EDITIONS ELSEVIER, PARIS, FR, Bd. 39, Nr. 2, 1. Februar 2000 (2000-02-01), Seiten 236-248, XP004271227, ISSN: 1290-0729, DOI: 10.1016/S1290-0729(00)00242-8 ist ein Versuchsaufbau bekannt, bei dem ein periodisch variierender Luftstrom einer Düse zugeführt wird, die sich in einem defin-

ierten Abstand zu einem zu kühlenden Wandbereich befindet. Die in der D1 genannten Strouhal-Zahlen liegen bei kleinen Werten (kleiner als 0,106, kleiner als 0,054 und bei 0,021 und 0,011).

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Prallluftkühlung von mit heißen Verbrennungsgasen beaufschlagten Komponenten einer Gasturbine anzugeben, mit dem die Kühlwirkung der Prallluft verbessert werden kann. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einem Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Aus den Unteransprüchen ergeben sich weitere Merkmale und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0007] Der Grundgedanke der Erfindung besteht mit anderen Worten darin, dass in dem Raum zwischen den Prallluftöffnungen und der zu kühlenden Wand der Triebwerkskomponente anstelle eines stetigen Prallluftstroms in zeitlichem Abstand Ringwirbelstrukturen erzeugt werden, indem die Prallluftöffnungen eingangsseitig mit in einer bestimmten Frequenz und mit bestimmter Amplitude mit Kühlluftimpulsen beaufschlagt werden. Bei einer bestimmten Amplitude der Kühlluftimpulse und einer darauf abgestimmten Größe der Prallluftöffnungen werden kräftige Ringwirbelstrukturen erzeugt, die die bestehende Querströmung an der zu kühlenden wandfläche durchdringen und mit der Frequenz Kühlluftgeschwindigkeitspakete oder Kühlluftimpulse vollständig bis an die betreffende Wandfläche gelangen, Infolge der in einer bestimmten Frequenz erzeugten Ringwirbel werden die Temperaturgradienten an der Bauteilwand aufgrund des dynamischen Antwortverhaltens der Temperaturschicht im zeitlichen Mittel höher und dadurch wird der Wärmeübergang an der Wand des zu kühlenden Bauteils erhöht.

[0008] Die Beziehung zwischen der Größe (D) der Prallluftöffnung, der Luftgeschwindigkeit (V_{cool}) in der Prallluftöffnung (Amplitude der Kühlluftgeschwindigkeitspakete) und der Frequenz (f), mit der die Prallluftöffnungen mit den Kühlluftimpulsen beaufschlagt werden, spiegelt sich in der sog. Strouhalzahl

$$Sr = f \times D / V_{cool}$$

wider, die erfindungsgemäß zwischen 0,2 und 2,0 liegt und vorzugsweise zwischen 0,8 und 1,2 beträgt.

[0009] Ringwirbelstrukturen mit für eine maximale Kühlwirkung höchster Intensität werden durch eine entsprechend größere Amplitude, vorzugsweise bei einer bestimmten Resonanzfrequenz erzielt,

[0010] Der Abstand zwischen der Trennwand und dem zu kühlenden Wandbereich wird erfindungsgemäß so gewählt, dass zwischen den an den Prallluftöffnungen erzeugten Ringwirbeln und den aufgrund der auftretenden Ringwirbel induzierten und reflektierten Druckwellen Resonanzbedingungen herrschen und dadurch eine Intensivierung der Ringwirbelstrukturen zu verzeichnen

ist.

[0011] In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung wird die periodische Erzeugung der Ringwirbelstrukturen in zeitlich regelmäßigen Abständen unterbrochen. Durch die regelmäßig wiederkehrenden Pausen in der periodischen Ringwirbelerzeugung kann der Kühlluftmassenstrom bei gleicher Kühlwirkung verringert werden.

[0012] Die aufgrund der in einer bestimmten Frequenz erzeugten Ringwirbelstrukturen der Prallluft verbesserte Kühlwirkung vermindert den Kühlluftbedarf und erhöht den Wirkungsgrad der Turbine oder die Lebensdauer der hoch erhitzten Turbinenkomponenten.

[0013] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Zeichnung, in deren einziger Figur schematisch eine Teilansicht einer in einem Heißgastrom angeordneten Triebwerkskomponente wiedergegeben ist, näher erläutert.

[0014] In einen Hohlraum 1 einer Triebwerkskomponente, beispielsweise einer Leitschaufel einer Turbinenstufe, wird mit einer Temperatur T_{cool} ein zeitabhängig variierender, das heißt sich in der Geschwindigkeit periodisch - beispielsweise sinusförmig - ändernder Kühlluftmassenstrom, bestehend aus in zeitlichem Abstand aufeinander folgenden Kühlluftgeschwindigkeitspaketen $V_{\text{cool}}(t)$ mit einer bestimmten Amplitude V_{cool} , eingebracht. Entlang der zu kühlenden Außenwand 3 der Triebwerkskomponente strömt ein Heißgas mit einer Temperatur T und einer Geschwindigkeit V . In dem Hohlraum 1 ist im Abstand von der Außenwand 3 eine Trennwand 2 mit Prallluftöffnungen 4 angeordnet, die mit den zeitlich aufeinander folgenden Geschwindigkeitspaketen $V_{\text{cool}}(t)$ des un stetigen Kühlluftmassenstroms beaufschlagt werden. Die Kühlluft gelangt an die Innenfläche der Außenwand 3 und strömt in einer Querströmung mit der Geschwindigkeit V_{cross} in dem zwischen der Außenwand 3 und der Trennwand 2 gebildeten Kühlluftkanal 5 über nicht dargestellte Öffnungen, beispielsweise Filmkühlöffnungen, nach außen. Aufgrund der periodischen Beaufschlagung der Prallluftöffnungen 4 mit den Kühlluftgeschwindigkeitspaketen $V_{\text{cool}}(t)$ werden an deren Ausgang mit dem Auftreffen auf die Querströmung periodisch aufeinander folgende kräftige Ringwirbelstrukturen 6 ausgebildet. Die Ringwirbelstrukturen 6 der Kühlluft sind in der Lage, den zwischen der Trennwand und der Außenwand vorhandenen Kühlluftkanal 5 bzw. die in diesem vorhandene Querströmung im Wesentlichen vollständig zu durchdringen und treffen somit mit hoher Intensität auf die Innenfläche der Außenwand 3, die dadurch besser als mit einem nach dem Stand der Technik vorgesehenen stetigen Prallluftstrom gekühlt wird.

[0015] Aufgrund der hohen Effizienz der un stetigen Prallluftkühlung erhöht sich bei gleicher Kühlluftmenge die Lebensdauer der betreffenden Turbinenkomponenten oder der Kühlluftbedarf wird verringert und der Wirkungsgrad der Turbine wird verbessert. Das neue Kühlverfahren kann bei stationären Gasturbinen und Gasturbinentriebwerken zur Prallluftkühlung von Rotorschaukeln, Leitschaufeln, Linern und Plattformen sowie Turbi-

nen- und Brennkammergehäusen eingesetzt werden.

[0016] Zur Ausbildung von Ringwirbelstrukturen mit hoher Prallluftkühlwirkung ist es erforderlich, die Größe bzw. den Durchmesser D der Prallluftöffnung 4, die Frequenz f der Kühlluftgeschwindigkeitpakete oder Kühlluftimpulse bzw. die Wirbelablösefrequenz und die Amplitude der Strömungsgeschwindigkeitspakete und damit die Strömungsgeschwindigkeit der Kühlluft in der Prallluftkühlöffnung 4 so einzustellen und aufeinander abzustimmen, dass möglichst kräftige Ringwirbelstrukturen 6 mit hoher Kühlwirkung ausgebildet werden. Diese drei Parameter sind in der Strouhalsahl S_r , einer dimensionslosen Frequenz, die das Verhältnis aus dem Produkt der Kühlluftimpulsfrequenz und der Größe der Prallluftöffnung und der Strömungsgeschwindigkeit ist, verknüpft, wobei

$$S_r = f \times D / V_{\text{cool}}$$

[0017] Im Ergebnis aufwendiger Versuchsreihen wurde ermittelt, dass bei einer Strouhalszahl S_r im Bereich von 0,8 bis 1,2 kräftige Ringwirbelstrukturen der Prallkühlluft mit einer Frequenz erzeugt werden, die gegenüber einem stetigen Prallluftkühlstrom zu einer deutlichen Verbesserung der Kühlwirkung der Prallluft führen. Dabei sollte die Geschwindigkeitsamplitude der Kühlluftgeschwindigkeitspakete (Kühlluftimpulse) einen bestimmten Wert nicht unterschreiten. Intensive Ringwirbelstrukturen werden bevorzugt unter Resonanzbedingungen zwischen den an den Prallluftöffnungen erzeugten Ringwirbeln und den sich aufgrund des Auftretens der Ringwirbel an der Bauteilwand und der Trennwand aufbauenden Druckschwingungen erzeugt.

Bezugszeichenliste

[0018]

1	Hohlraum einer Turbinenkomponente
2	Trennwand in 1
3	Außenwand von 1
4	Prallluftöffnungen in 2
5	Kühlluftkanal zw. 2 und 3
6	Ringwirbelstrukturen
$V_{\text{cool}}(t)$	Kühlluftgeschwindigkeitspaket
V_{cool}	Kühlluftgeschwindigkeit, Amplitude v. $V_{\text{cool}}(t)$
T_{cool}	Kühllufttemperatur
V	Heißgasgeschwindigkeit
V_{cross}	Geschwindigkeit der Querströmung in 5
D	Größe der Prallluftöffnung
F	Frequenz von $V_{\text{cool}}(t)$ bzw. 6

Patentansprüche

1. Verfahren zur Prallluftkühlung für Gasturbinen, bei

dem Kühlluft über in einer Trennwand ausgebildete Prallluftöffnungen in separaten Kühlluftstrahlen auf den zu kühlenden Wandbereich prallt und in einer Querströmung wieder abgeführt wird, wobei in der Querströmung in zeitlichem Abstand aufeinander folgende und mit hoher Intensität und Frequenz die Querströmung durchdringende und auf den zu kühlenden Wandbereich prallende Ringwirbelstrukturen (6) mit hoher Kühlwirkung erzeugt werden, indem die Prallluftöffnungen (4) eingangsseitig mit Kühlluftgeschwindigkeitspaketen ($V_{cool}(t)$) von bestimmter Amplitude (V_{cool}) und Frequenz (f) beaufschlagt werden, wobei das Verhältnis zwischen der Frequenz (f) und der Amplitude (V_{cool}) der Kühlluftgeschwindigkeitspakete und der Größe (D) der Prallluftöffnungen (4) durch die Strouhalzahl ($Sr = f \times D/V_{cool}$) bestimmt ist und die Strouhalzahl (Sr) zur Anregung der Ringwirbelstrukturen im Bereich zwischen 0,2 und 2,0 liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausbildung und Intensität der Ringwirbelstrukturen (6) durch die Amplitude der Kühlluftgeschwindigkeitspakete und die Größe (D) der Prallluftöffnungen (4) bestimmt ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anrege-Strouhalzahl zwischen 0,8 und 1,2 liegt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand zwischen der Trennwand und dem zu kühlenden Wandbereich zur Intensivierung der Ringwirbelstrukturen so gewählt ist, dass in dem Raum zwischen Trennwand und zu kühlender Wand Resonanzbedingungen zwischen den Ringwirbeln an den Prallluftöffnungen und den reflektierten Druckwellen herrschen.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die periodische Erzeugung der Ringwirbelstrukturen (6) zur Einsparung von Kühlluft in zeitlich regelmäßigen Abständen unterbrochen wird.

Claims

1. Method for impingement air cooling for gas turbines, wherein cooling air in separate cooling air jets hits the wall area to be cooled via impingement air openings provided in a partition wall, and is removed again in the form of a cross-flow, wherein annular swirl structures (6) with high cooling effect are produced in the cross-flow at successive intervals, these annular swirl structures (6) penetrating the cross-flow with high intensity and frequency and hitting the wall area to be cooled, with cooling air velocity packs ($V_{cool}(t)$) with a certain amplitude (V_{cool}) and fre-

quency (f) being applied to the impingement air openings (4) on the inlet side, wherein the ratio of the frequency (f) and the amplitude (V_{cool}) of the cooling air velocity packs and the size (D) of the impingement air openings (4) is determined by the Strouhal number ($Sr = f \times D/V_{cool}$) and the Strouhal number (Sr) for excitation of the annular swirl structures ranges between 0.2 and 2.0.

2. Method in accordance with Claim 1, **characterized in that** the formation and intensity of the annular swirl structures (6) are determined by the amplitude of the cooling air velocity packs and the size (D) of the impingement air openings (4).
3. Method in accordance with Claim 1, **characterized in that** the excitation Strouhal number ranges between 0.8 and 1.2.
4. Method in accordance with Claim 1, **characterized in that** - for intensifying the annular swirl structures - the spacing between the partition wall and the wall area to be cooled is selected such that there are resonance conditions between the annular swirls at the impingement air openings and the reflected pressure waves in the space between the partition wall and the wall to be cooled.
5. Method in accordance with Claim 1, **characterized in that** the periodic generation of annular swirl structures (6) for saving cooling air is interrupted at regular intervals.

Revendications

1. Procédé de refroidissement d'air d'impact pour turbines à gaz, dans lequel de l'air de refroidissement percute en jets d'air de refroidissement séparés la zone de paroi à refroidir en passant par des orifices d'air d'impact formés dans une cloison et est de nouveau évacué dans un flux transversal, dans lequel que dans le flux transversal sont générées à intervalles de temps successifs des structures de tourbillonnement annulaire (6) à fort effet réfrigérant qui, avec une intensité et une fréquence élevées, traversent le flux transversal et percutent la zone de paroi à refroidir, par le fait que les orifices d'air d'impact (4) sont alimentés côté entrée avec des paquets de vitesse d'air de refroidissement ($V_{cool}(t)$) d'une amplitude (V_{cool}) et d'une fréquence (f) définies, dans lequel le rapport entre la fréquence (f) et l'amplitude (V_{cool}) des paquets de vitesse d'air de refroidissement et la taille (D) des orifices d'air d'impact (4) est déterminé par le nombre de Strouhal ($Sr = f \times D/V_{cool}$), et qu'afin d'exciter les structures de tourbillonnement annulaire, le nombre de Strouhal

(Sr) se situe dans la plage comprise entre 0,2 et 2,0.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la formation et l'intensité des structures de tourbillonnement annulaire (6) sont déterminées par l'amplitude des paquets de vitesse d'air de refroidissement et la taille (D) des orifices d'air d'impact (4). 5
3. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le nombre d'excitation de Strouhal se situe dans la plage comprise entre 0,8 et 1,2. 10
4. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** pour intensifier les structures de tourbillonnement annulaire, la distance entre la cloison et la zone de paroi à refroidir est définie de manière telle que dans l'espace entre la cloison et la paroi à refroidir règnent des conditions de résonance entre les tourbillons annulaires sur les orifices d'air d'impact et les ondes de pression réfléchies. 15 20
5. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la création périodique des structures de tourbillonnement annulaire (6) est interrompue à intervalles de temps réguliers afin d'économiser de l'air de refroidissement. 25

30

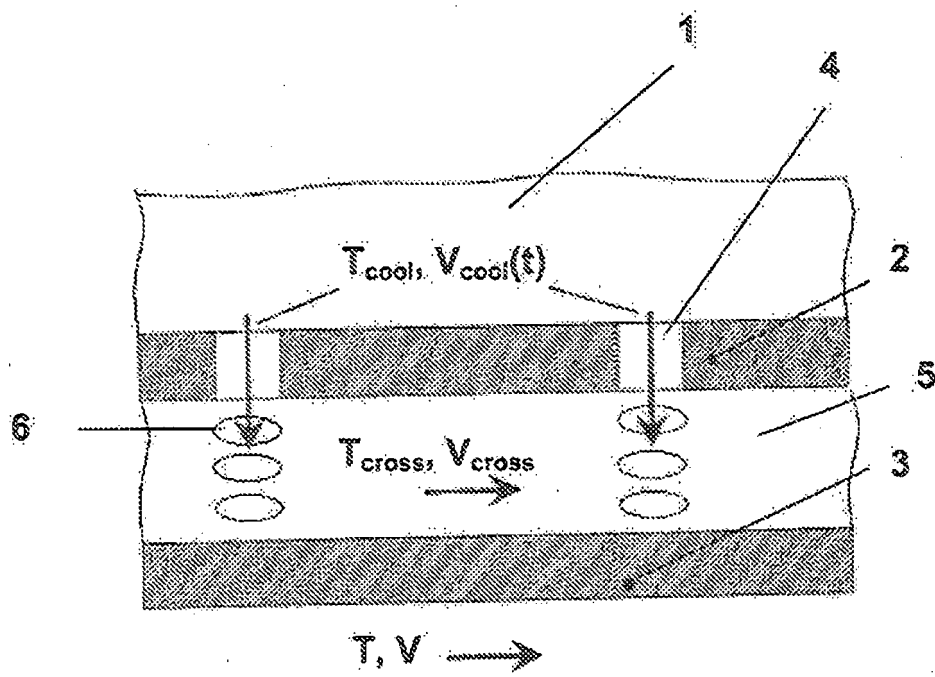
35

40

45

50

55



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0892151 A1 [0003]
- EP 0698724 B1 [0003]
- EP 0889201 A1 [0003]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Alterations to coherent flow structures and heat transfer due to pulsations in an impinging air-jet. **MLADIN E-C et al.** INTERNATIONAL JOURNAL OF THERMAL SCIENCES. 01. Februar 2000, vol. 39, 236-248 [0005]