

(19)



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 1 959 096 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

20.08.2008 Patentblatt 2008/34

(51) Int Cl.:

F01D 5/18 ^(2006.01)**F01D 25/12** ^(2006.01)(21) Anmeldenummer: **08151497.8**(22) Anmeldetag: **15.02.2008**

(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 MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL BA MK RS(30) Priorität: **16.02.2007 DE 102007008319**(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG****15827 Blankenfelde-Mahlow (DE)**

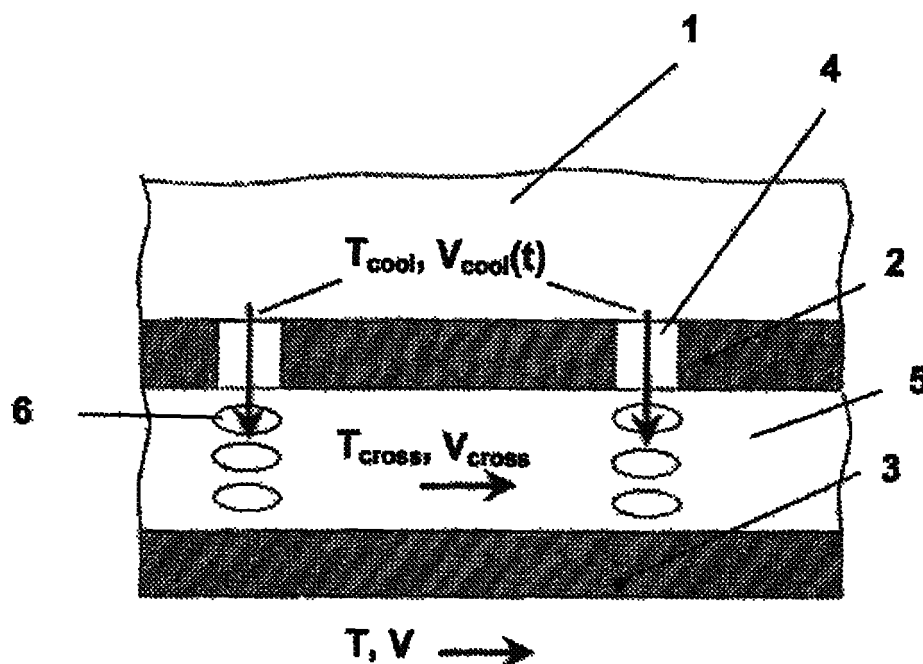
(72) Erfinder:

- Janetzke, Timm
14195, Berlin (DE)
- Nitsche, Wolfgang
14728, Neuwerder (DE)
- Reyer, Matthias
13587, Berlin (DE)
- Haselbach, Frank
Melbourne, Derbyshire DE73 8LX (GB)
- Janke, Erik
12307, Berlin (DE)
- Täge, Jens
12559, Berlin (DE)

(54) **Verfahren zur Prallluftkühlung für Gasturbinen**

(57) Bei der Prallluftkühlung von Gasturbinenkomponenten werden Prallluftöffnungen mit Kühlluftgeschwindigkeitspaketen von bestimmter Amplitude in einer vorgegebenen Frequenz beaufschlagt, wobei sich aufeinander folgende Ringwirbelstrukturen ausbilden, die die Querströmung durchdringen und mit hoher Inten-

sität auf das zu kühlende Bauteil treffen und dadurch für eine effiziente Kühlung sorgen. Zur Erzielung von Ringwirbelstrukturen mit optimaler Kühlwirkung liege die Strouhalzahl, die durch das Verhältnis zwischen der Amplitude und der Frequenz der Geschwindigkeitspakete und der Größe der Prallluftkühlöffnungen bestimmt ist, zwischen 0,2 und 2,0, vorzugsweise zwischen 0,8 und 1,2.



EP 1 959 096 A2

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] 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.

[0006] 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.

dung.

[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 Temperaturgrenzschicht 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 unsteady 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 unsteady 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 Turbinen- 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 Kühlluftgeschwindigkeitspakete 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 Sr , einer dimen-

sionslosen Frequenz, die das Verhältnis aus dem Produkt der Kühlluftimpulsfrequenz und der Größe der Prallluftöffnung und der Strömungsgeschwindigkeit ist, verknüpft, wobei

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

[0017] Im Ergebnis aufwendiger Versuchsreihen wurde ermittelt, dass bei einer Strouhalszahl Sr im Bereich von 0,8 bis 1,2 kräftige Ringwirbelstrukturen der Prallkühlung 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.

25 Bezugszeichentaliste

[0018]

1	Hohlraum einer Turbinenkomponente
30 2	Trennwand in 1
3	Außenwand von 1
4	Prallluftöffnungen in 2
5	Kühlluftkanal zw. 2 und 3
6	Ringwirbelstrukturen
35 $V_{\text{cool}}(t)$	Kühlluftgeschwindigkeitspaket
V_{cool}	Kühlluftgeschwindigkeit, Amplitude v. $V_{\text{cool}}(t)$
T_{cool}	Kühllufttemperatur
V	Heißgasgeschwindigkeit
V_{cross}	Geschwindigkeit der Querströmung in 5
40 D	Größe der Prallluftöffnung
F	Frequenz von $V_{\text{cool}}(t)$ bzw. 6

Patentansprüche

45 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, **dadurch gekennzeichnet, dass** 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 ($V_{\text{cool}}(t)$) von bestimmter Amplitude

(V_{cool}) und Frequenz (f) beaufschlagt werden.

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. 5

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** 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. 10
15

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anrege-Strouhalzahl zwischen 0,8 und 1,2 liegt. 20

5. 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. 25
30

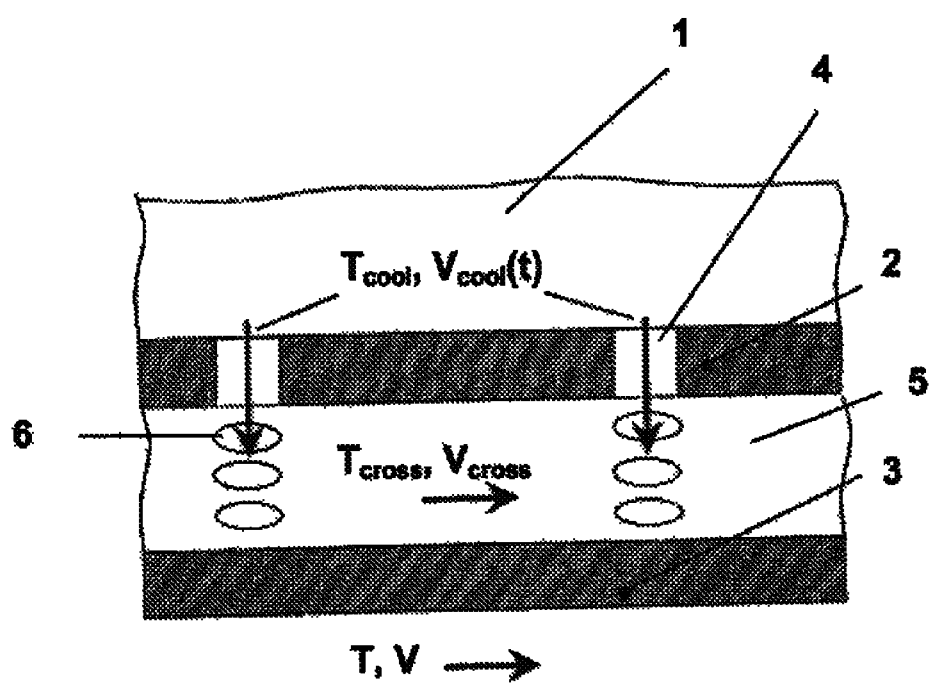
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die periodische Erzeugung der Ringwirbelstrukturen (6) zur Einsparung von Kühlluft in zeitlich regelmäßigen Abständen unterbrochen wird. 35

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]