



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 351 021 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.10.2003 Patentblatt 2003/41

(51) Int Cl.7: **F23R 3/04**

(21) Anmeldenummer: **03001783.4**

(22) Anmeldetag: **28.01.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT SE SI SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO

(72) Erfinder:
• **Gerendas, Miklos, Dr.-Ing.**
15806 Zossen (DE)
• **Ebel, Michael**
15834 Rangsdorf (DE)

(30) Priorität: **02.04.2002 DE 10214573**

(74) Vertreter: **Weber, Joachim, Dr.**
Hoefer & Partner
Patentanwälte
Gabriel-Max-Strasse 29
81545 München (DE)

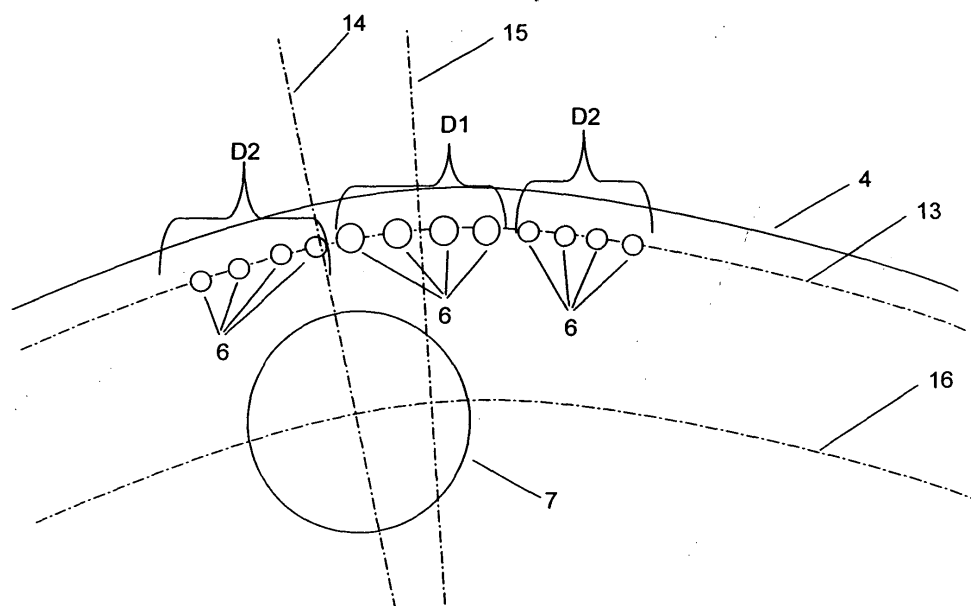
(71) Anmelder: **Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG**
15827 Dahlewitz (DE)

(54) **Brennkammer einer Gasturbine mit Starterfilmkühlung**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Brennkammer einer Gasturbine mit Starterfilm-Kühlung einer Brennkammerwand 4 bei mehreren kreisförmig ange-

ordneten Brennern 7, dadurch gekennzeichnet, dass um den Umfang der Brennkammerwand 4 lokale Maxima und Minima in der Intensität des Starterfilms 3 ausgebildet sind.

Abbildung 4:



EP 1 351 021 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Brennkammer einer Gasturbine mit Starterfilmkühlung einer Brennkammerwand bei mehreren kreisförmig angeordneten Brennern.

[0002] Die Brennkammerwand einer Brennkammer bildet die Wandung eines Raumes, in dem Brennstoff mit der vom Verdichter komprimierten Luft verbrannt wird, bevor diese in der Turbine entspannt wird und dabei Arbeit leistet. Da die Gastemperaturen in der Brennkammer üblicherweise oberhalb der Schmelztemperatur des Materials der Brennkammerwand liegen, muss diese entsprechend gekühlt werden. Zur Erzielung einer langen Lebensdauer müssen entsprechend niedrige Temperaturwerte eingehalten werden. Die Brennkammerwand kann zum Beispiel mit Kühlringen (US 4,566,280), Effusionsbohrungen (US 5,181,379), bestifteten Schindeln (EP 1 098 141 A1) oder prall- und effusionsgekühlten Schindeln (US 5,435,139) ausgestattet sein.

[0003] Unabhängig von der jeweils gewählten Kühlmethode besteht das Problem, die Brennkammerwand stromauf des ersten Kühllufteinlasses zu schützen, da eine rückseitige Kühlung alleine nicht ausreichend ist, um unterhalb des jeweiligen Temperaturlimits zu bleiben. Daher wird üblicherweise am Anfang der Brennkammerwand ein sogenannter Starterfilm aufgebracht. Dieser Starterfilm schützt die Wand, bis die eigentliche Kühlung für die Brennkammerwand genügend Wirkung zeigt. Die für diesen Starterfilm benötigte Luft kann von innerhalb des von einer Abdeckung und einer Grundplatte gebildeten Raumes oder aus einem Annulus zwischen der Brennkammerwand und einem Brennkammergehäuse zugeführt werden. Die Durchströmöffnungen durch die Brennkammerwand sind meistens kreisrunde, regelmäßig verteilte Bohrungen konstanten Querschnitts ohne Fase oder Radius auf der Einlaufseite. Der Starterfilm wird hauptsächlich parallel zur Brennkammerwand an dieser entlang eingeblasen.

[0004] Ein derartiger Starterfilm für eine effusionsgekühlte Brennkammerwand ist in US 5,279,127 dargestellt. Dieses Patent beschreibt jedoch lediglich eine einwandige Konstruktion. Der Spalt, aus dem der gleichförmig am Umfang verteilte Kühlfilm (Starterfilm) austritt, wird durch einen Kühlring gebildet.

[0005] In einer anderen aus dem Stand der Technik bekannten Bauart wird die Luft für den Starterfilm nur auf einer Seite durch ein zur Brennkammerwand gehörendes Bauelement geführt, während sie auf der anderen Seite von einer Strömungsfläche des Hitzeschildes begrenzt wird. Zwischen dem Hitzeschild und dem Anfangsteil der Brennkammerwand wird der Starterfilm ausgeblasen, um diesen Teil der Brennkammer vor den heißen Gasen der Verbrennung zu schützen. Dies geschieht üblicherweise durch eine gleich verteilte Anzahl an kreisrunden Bohrungen ohne Fase oder Radius auf der Zuströmseite auf einem bestimmten Teilkreis. Zur

Vergleichmäßigung können die einzelnen Strahlen zuerst auf die Rückseite des Hitzeschildes geblasen werden. Beim Aufprall der Strahlen kühlen diese das Hitzeschild und vereinigen sich zu einem homogenen Film (Starterfilm), der dann entlang der Brennkammerwand strömt. Insbesondere bei Effusionskühlung der Brennkammerwand, die einwandig oder mit zusätzlich prallgekühlten Schindeln ausgeführt sein kann, wird zunächst eine gewisse Strecke stromab ein schützender Kühlfilm aufgebaut. Ohne einen derartigen Starterfilm wäre der Anfangsteil der Brennkammerwand nicht genügend geschützt.

[0006] Bei den bekannten Konstruktionen erweist es sich als nachteilig, dass der Starterfilm gleichmäßig über den gesamten Umfang der Brennkammerwand verteilt ist. Hieraus ergibt sich eine gleich verteilte Intensität der Kühlung durch den Starterfilm.

[0007] Da jedoch der Wärmeeintrag in die Brennkammerwand periodisch mit jedem Brenner ansteigt und in den Zwischenräumen abfällt, entsteht zwangsläufig eine Temperaturvariation in Umfangsrichtung in der Brennkammerwand. Auch an der Stelle der höchsten thermischen Belastung der Brennkammerwand darf das Temperaturlimit des Materials der Brennkammerwand nicht überschritten werden. Somit wird die Luftmenge des Starterfilms von der höchstbelasteten Stelle am Umfang der Brennkammerwand bestimmt, welche üblicherweise in der Nähe der Brennerachse liegt. Zwischen den Brennern wird dabei allerdings deutlich zu viel Kühlluft mit dem Starterfilm auf die Brennkammerwand geleitet. Die Folge ist eine unnötig starke Kühlung der Brennkammerwand in diesem Bereich. Durch diese unangepasste Kühlung entsteht eine deutliche Temperaturschwankung in der Brennkammerwand in Umfangsrichtung. Diese wiederum hat zur Folge, dass starke mechanische Spannungen in der Brennkammerwand auftreten. Diese Spannungen führen insbesondere bei der Anwendung der Effusionskühlung zu einer deutlich verminderten Lebensdauer der Brennkammerwand.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Brennkammer der eingangs genannten Art zu schaffen, welche bei einfachem Aufbau und einfacher, kostengünstiger Herstellbarkeit eine optimierte Kühlung und damit verbunden eine lange Lebensdauer aufweist.

[0009] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale des Hauptanspruchs gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0010] Erfindungsgemäß ist somit vorgesehen, dass um den Umfang der Brennkammerwand lokale Maxima und Minima in der Intensität des Starterfilms ausgebildet sind.

[0011] Die erfindungsgemäße Brennkammer zeichnet sich durch eine Reihe erheblicher Vorteile aus. Erfindungsgemäß sinkt der Temperaturgradient der Brennkammerwand in Umfangsrichtung. Die thermisch induzierten Spannungen in der Brennkammerwand

nehmen hierdurch drastisch ab, so dass die Lebensdauer bei vorgegebener Temperatur für ein bestimmtes Material deutlich gesteigert werden kann.

[0012] Es ist jedoch erfindungsgemäß auch möglich, die Betriebstemperatur der Brennkammer (Brennkammerwand) bei gleicher Lebensdauer und vorgegebenem Material zu erhöhen.

[0013] Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass bei gleicher Temperatur der Brennkammerwand und bei gleicher Lebensdauer auf ein schwächeres und/oder preiswerteres Material ausgewichen werden kann.

[0014] Erfindungsgemäß wird somit der Starterfilm in Umfangsrichtung der Brennkammer so variiert, dass in der Brennkammerwand eine gleichmäßige Temperatur entsteht.

[0015] Durch die Variation der Intensität des Starterfilms ergibt sich somit eine Anzahl von Maxima bzw. Minima, die gleich sein kann der Anzahl der Brenner oder die ein ganzzahliges Vielfaches der Brenneranzahl betragen kann.

[0016] Erfindungsgemäß ist es zur Variation der Intensität des Starterfilms möglich, den Starterfilm auf unterschiedlichste Weise zu erzeugen. Die Durchströmöffnungen zur Durchleitung von Kühlluft und zur Bildung des Starterfilms müssen erfindungsgemäß nicht unbedingt kreisrunde Bohrungen sein. Da diese Öffnungen zumeist mit einem Laser geschnitten werden, können sie jede beliebige Form annehmen. Auch muss der Querschnitt der jeweiligen Öffnung nicht an jedem Punkt entlang der Lochachse der Öffnung konstant sein. Erfindungsgemäß ist entscheidend, dass eine vorher festgelegte Luftmenge durch diese Öffnung strömt. Dies bedeutet, dass eine Öffnung mit einer bestimmten Fläche und einem bestimmten Durchflusskoeffizienten vorgesehen ist. Bei unregelmäßigen Öffnungen wird zur Beschreibung der durchzuführenden Luftmenge der äquivalente oder hydraulische Durchmesser als Vergleichswert herangezogen. Um die nachfolgende Diskussion zu vereinfachen und klarer zu gestalten, wird nachfolgend jeweils von Öffnungen oder Löchern gesprochen, obwohl diese nicht zwangsweise einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen müssen.

[0017] Erfindungsgemäß ist es möglich, die Variation der Luftmenge zur Bildung des Starterfilms auf unterschiedliche Weise zu erzeugen.

[0018] Eine Möglichkeit der Variation der Durchflussmenge pro Umfangslänge der Brennkammer kann dadurch geschehen, dass der äquivalente Durchmesser der gleichmäßig verteilten Starterfilmlöcher variiert wird.

[0019] Eine alternative Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass bei gleichem äquivalentem Durchmesser der Starterfilm-Öffnungen oder -Löcher der Lochabstand variiert wird.

[0020] Es ist auch möglich, die Starterfilm-Löcher auf einer variierenden Anzahl von Teilkreisen anzuordnen.

[0021] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann es günstig sein, den Durchflusskoeffizienten der

Öffnungen bei fester Geometrie der Austrittsöffnung und konstantem Querschnitt der Öffnungen zu variieren, beispielsweise durch unterschiedliches Ausrunden oder Anfasen der stromaufwärts liegenden Kante der Öffnung.

[0022] Die Variation der Luftmenge des Starterfilms kann kontinuierlich sein oder sich auf diskrete Zustände, beispielsweise zwei oder drei reduzieren. Dies wird nachfolgend in Verbindung mit einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

[0023] Erfindungsgemäß ist es auch möglich, die Methoden der Variation der Luftmenge zur Bildung des Starterfilms bzw. zur Ausbildung der jeweiligen Maxima oder Minima zu kombinieren. Auch ist es erfindungsgemäß möglich, zwischen einzelnen Brennern auf einem beschränkten Stück des Umfangs der Brennkammerwand vollständig auf einen Starterfilm zu verzichten. In einer Weiterbildung der Erfindung kann auch vorgesehen sein, die Variation der Kühlung durch den Starterfilm nicht symmetrisch zur jeweiligen Brennerachse auszubilden, also die maximale Kühlung genau auf der Symmetrieachse der Brenner und die minimale Kühlung genau zwischen den Symmetrieachsen anzuordnen. Da die maximale und minimale Belastung der Brennkammerwand, bedingt durch den Brennerdrall, in Umfangsrichtung verschoben ist, kann es günstig sein, auch die Variation der Starterfilmstärke in Umfangsrichtung entsprechend zu verschieben. Hierdurch wird die Stärke des Starterfilms immer auf die lokal notwendige Menge beschränkt. Dies führt zu einer weiteren Einsparung von Kühlluft, die dann beispielsweise zur Verminderung der Schadstoffemissionen in der Gemischaufbereitung eingesetzt werden kann.

[0024] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Dabei zeigt:

Abb. 1 einen Querschnitt einer Gasturbinenbrennkammer,

Abb. 2 ein Detail des Brennkammerkopfes mit Darstellung der Kühlung und des Starterfilms,

Abb. 3 die Anordnung von Starterfilm-Öffnungen in Blickrichtung B-B gemäß Abb. 2 gemäß dem Stand der Technik,

Abb. 4 ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Starterfilm-Öffnungen analog zu Abb. 3,

Abb. 5 eine weitere Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Starterfilm-Öffnungen, analog der Abb. 4,

Abb. 6 ein weiteres Ausführungsbeispiel der Starterfilm-Öffnungen,

Abb. 7 ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Starterfilm-Öffnungen mit Darstellung von Details in der unteren Hälfte der Abbildung.

[0025] Die Abb. 1 zeigt in schematischer Seitenansicht einen Schnitt durch eine erfindungsgemäße Gasturbinenbrennkammer. Diese umfasst eine Abdeckung 1 eines Brennkammerkopfes sowie eine Grundplatte 2. Mit dem Bezugszeichen 4 ist eine Brennkammerwand dargestellt, die in eine schematisch dargestellte Turbinenleitschaufel 8 mündet. Das Bezugszeichen 10 zeigt ein Brennkammeraußengehäuse, ein Brennkammerinnengehäuse ist mit dem Bezugszeichen 11 versehen. Im Einstrombereich ist eine Leitschaufel 9 im Verdichterauslass dargestellt. Das Bezugszeichen 7 zeigt einen Brenner mit Brennerarm und Drallerzeuger. Weiterhin umfasst die Gasturbinenbrennkammer ein Hitzeschild 9 mit einem Loch für den Brenner 7 sowie einzelne, später zu beschreibende Öffnungen 6 zur Ausbildung eines Starterfilms 3. Wie sich aus dem in Abb. 2 gezeigten Detail A ergibt, wird die Luft für den Starterfilm 3 von innerhalb des von der Abdeckung 1 und der Grundplatte 2 gebildeten Raums oder aus dem Annulus zwischen der Brennkammerwand und dem Brennkammergehäuse 10, 11 zugeführt. In einer anderen aus dem Stand der Technik bekannten Bauart wird die Luft für den Starterfilm 3 nur auf einer Seite durch ein zur Brennkammerwand 4 gehörendes Bauelement geführt, auf der anderen Seite von einer Strömungsfläche des Hitzeschildes 5 begrenzt. Zwischen dem Hitzeschild 5 und dem Anfangsteil der Brennkammerwand 4 wird der Starterfilm 3 ausgeblasen (siehe Abb. 1) um diesen Teil der Brennkammerwand 4 vor den heißen Gasen der Verbrennung zu schützen. Dies geschieht üblicherweise durch eine gleich verteilte Anzahl an kreisrunden Bohrungen ohne Fase oder Radius auf der Zuströmseite auf einem bestimmten Teilkreis. Die Anordnung der Öffnungen 6 gemäß dem Stand der Technik ist in Abbildung 3 gezeigt, wobei das Bezugszeichen 14 die Brennerachse (Symmetrielinie des Brenners) zeigt, während der Teilkreis des Starterfilms 3 mit dem Bezugszeichen 13 versehen ist. Der Teilkreis des Brenners ist durch das Bezugszeichen 16 verdeutlicht. Die einzelnen Öffnungen 6 weisen einen Abstand x sowie einen Durchmesser D auf.

[0026] Die Öffnungen sind somit als kreisrunde Bohrungen ohne Fase oder Radius auf der Zuströmseite auf einem bestimmten Teilkreis 13 angeordnet. Zur Vergleichmäßigung können die einzelnen Luft-Strahlen zuerst auf der Rückseite des Hitzeschildes 5 ausgeblasen werden. Beim Aufprall der Strahlen kühlen diese das Hitzeschild 5 und vereinigen sich zu einem homogenen Film, der dann entlang der Brennkammerwand 4 strömt (siehe Abb. 2). Die Teilbereiche des Starterfilms bzw. die einzelnen Teilkreise sind mit 13a und 13b angeben.

[0027] Das Bezugszeichen 12 zeigt die weitere Kühlung der Brennkammerwand 4 durch Effusionskühlung.

In diesem Bereich kann die Brennkammerwand 4 einwandig oder mit zusätzlich prallgekühlten Brennkammerschindeln versehen sein.

[0028] Die Abb. 4 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei welcher zunächst, wie auch in den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich ist, dass eine Symmetrielinie 15 des maximalen Starterfilms in Umfangsrichtung zur Symmetrielinie des Brenners 7 (Brennerachse 14) versetzt ist.

[0029] Auch bei den Ausführungsbeispielen der Abb. 4 bis 7 sind die Teilkreise 13 des Starterfilms 3 ebenso gezeigt, wie der Teilkreis 16 der Brenner 7. Das Bezugszeichen 4 zeigt die innere Brennkammerwand, die Abb. 4 bis 7 sind jeweils in Blickrichtung B-B gemäß Abb. 2.

[0030] Bei dem Ausführungsbeispiel der Abb. 4 erfolgt eine Variation der Durchflussmenge pro Umfangslänge durch eine Variation des äquivalenten Durchmessers D der gleichmäßig verteilten Starterfilm-Löcher 6. Die entsprechenden Durchmesser $D1$ und $D2$ beziehen sich auf Gruppen von Starterfilm-Öffnungen 6.

[0031] Bei dem in Abb. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt eine Variation des Lochabstands der Starterfilm-Öffnungen 6 bei gleichem äquivalentem Durchmesser. Die unterschiedlichen Gruppierungen des Lochabstandes sind mit $x1$ bzw. $x2$ wiedergegeben.

[0032] Die Abb. 6 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel, bei welchem die Variation des Starterfilms 3 durch unterschiedlich belegte Teilkreise 13a und 13b erfolgt.

[0033] Die Abb. 7 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel, bei welchem der Starterfilm 3 durch Variation der Kontur $K1$ bzw. $K2$ der Öffnungen 6 erfolgt. Bei Kontur $K1$ (Detail $K1$) ist eine Fase bzw. ein Rundungsradius b vorgesehen. Wie in Detail $K2$ gezeigt, kann auch eine Ausbildung ohne Fase bzw. Rundungsradius vorgesehen sein. Bei diesem Ausführungsbeispiel bewegt sich der am Umfang variierende Durchmesser beispielsweise in einem Bereich von 0,5 - 5 mm, vorzugsweise von 1 - 2,5 mm. Das am Umfang variierende Verhältnis von Mittenabstand zu Durchmesser der Öffnungen 6 liegt bevorzugterweise in einem Bereich von 1,5 - 10 mm, vorzugsweise von 2 - 5 mm. Die Breite der Fase liegt beispielsweise im Bereich von 0 - 5 mm, bevorzugterweise im Bereich von 0,5 - 2 mm. Der Winkel der Fase beträgt beispielsweise 15° - 75° , vorzugsweise 30° bis 60° , idealerweise nahezu 45° . Der Eintrittsradius liegt günstigerweise in einem Bereich von 0 - 5 mm, vorzugsweise von 0,5 - 2 mm.

[0034] Wie in Abb. 7 gezeigt, kann die Variation kontinuierlich sein oder sich auf diskrete Zustände, z.B. zwei oder drei reduzieren. Beispielsweise können Durchmesser D der Starterfilm-Öffnungen 6 von $D1 = 2,5$ mm und $D2 = 1$ mm (siehe Abb. 3) oder normierte Abstände in Umfangsrichtung vorgesehen sein, siehe beispielsweise Abb. 4, dort können Werte von $x1/D = 2$ und $x2/D = 4$ vorgesehen sein. Es können auch Starterfilm-Öffnungen 6 mit gleichem Durchmesser D und gleichem Abstand x auf zwei Teilkreisen 13a und 13b oder nur auf einem Teilkreis 13a oder 13b (siehe Abb. 6), Fa-

sen, beispielsweise 1 mm x 45°, oder Radien, beispielsweise $R = 0,5$ mm, vorgesehen sein (siehe Abb. 7).

[0035] Die Verschiebung der Starterfilmstärke in Umfangsrichtung (Symmetrielinie 15) kann beispielsweise 4° betragen, so wie dies in den Abb. 4 bis 7 dargestellt ist.

[0036] Die Erfindung ist nicht auf die gezeigten Ausführungsbeispiele beschränkt, vielmehr ergeben sich im Rahmen der Erfindung vielfältige Abwandlungs- und Modifikationsmöglichkeiten.

Bezugszeichenliste

[0037]

- | | | |
|----|--|--|
| 1 | Abdeckung des Brennkammerkopfes | |
| 2 | Grundplatte | |
| 3 | Starterfilm | |
| 4 | innere Brennkammerwand | |
| 5 | Hitzeschild mit Loch für Brenner 7 | |
| 6 | Starterfilm-Öffnungen | |
| 7 | Brenner mit Brennerarm und Drallerzeuger | |
| 8 | Turbinenleitschaufel | |
| 9 | Leitschaufel im Verdichterauslass | |
| 10 | Brennkammeraußengehäuse | |
| 11 | Brennkammerinnengehäuse | |
| 12 | Wandkühlung | |
| 13 | Teilkreis des Starterfilms 3 | |
| 14 | Symmetrielinie des Brenners 7 (Brennerachse) | |
| 15 | Symmetrielinie des maximalen Starterfilms 3 | |
| 16 | Teilkreis der Brenner 7 | |
| D | Durchmesser der Starterfilm-Öffnung 6 | |
| x | Abstand der Bohrungsmitten der Öffnungen 6 | |

Patentansprüche

1. Brennkammer einer Gasturbine mit Starterfilm-Kühlung einer Brennkammerwand (4) bei mehreren kreisförmig angeordneten Brennern (7), **dadurch gekennzeichnet, dass** um den Umfang der Brennkammerwand (4) lokale Maxima und Minima in der Intensität des Starterfilms (3) ausgebildet sind.
2. Brennkammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zahl der Maxima (15) bzw. Minima gleich ist der Anzahl der Brenner (7).
3. Brennkammer nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zahl der Maxima (15) bzw. Minima ein ganzzahliges Vielfaches der Brenner (7) ist.
4. Brennkammer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die lokalen Maxima und Minima durch unterschiedliche Starterfilm-Öffnungen (6) geleitete Luftmengen gebildet werden.

5. Brennkammer nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Starterfilm-Öffnungen (6) unterschiedliche äquivalente Durchmesser (D) aufweisen.

6. Brennkammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Starterfilm-Öffnungen (6) gleichmäßig verteilt sind und unterschiedliche äquivalente Durchmesser (D) aufweisen.

7. Brennkammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Starterfilm-Öffnungen (6) bei gleichem äquivalentem Durchmesser (D) unterschiedliche Lochabstände haben.

8. Brennkammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnungen (6) auf einem variierenden Anteil von Teilkreisen (13) angeordnet sind.

9. Brennkammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnungen (6) unterschiedliche Durchlasskoeffizienten aufweisen.

10. Brennkammer nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Öffnungen unterschiedliche Einlaufkonturen aufweisen.

11. Brennkammer nach einem der Ansprüche 4 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Variation der Starterfilm-Öffnungen (6) kontinuierlich ausgebildet ist.

12. Brennkammer nach einem der Ansprüche 4 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Variation der Starterfilm-Öffnungen (6) auf diskrete Zustände bezogen ist.

13. Brennkammer nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Maxima (15) auf der Symmetrieachse der Brennerachse (14) angeordnet sind.

14. Brennkammer nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Maxima (15) in Umfangsrichtung zur Brennerachse (14) verschoben angeordnet sind.

Abbildung 1:

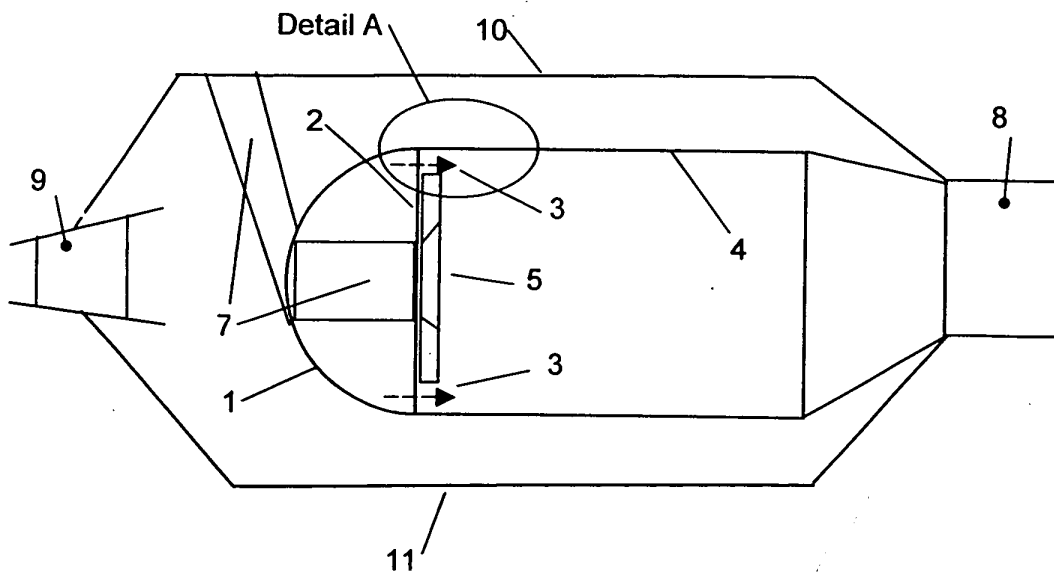


Abbildung 2: Detail A

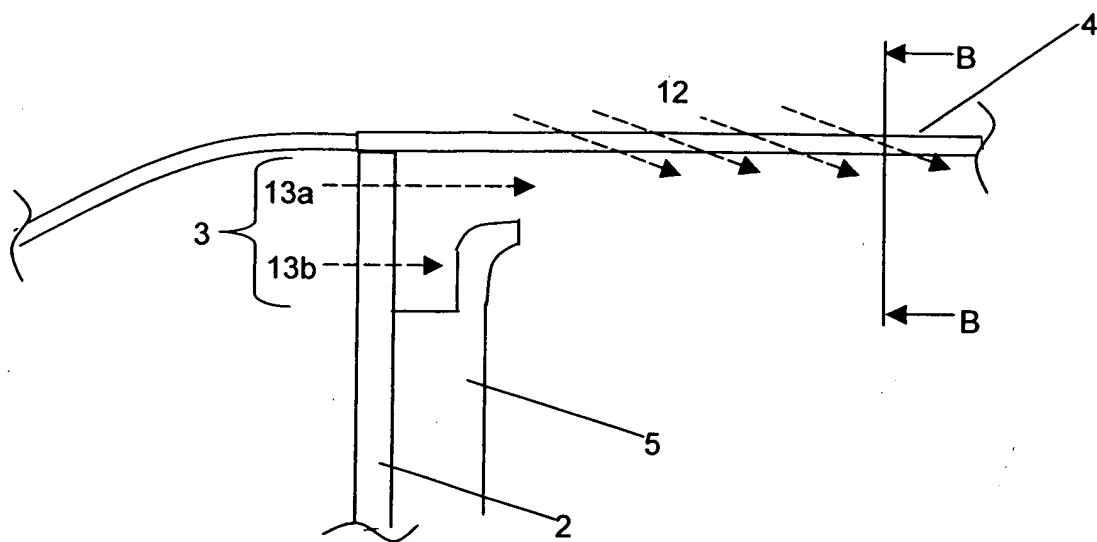


Abbildung 3: Stand der Technik

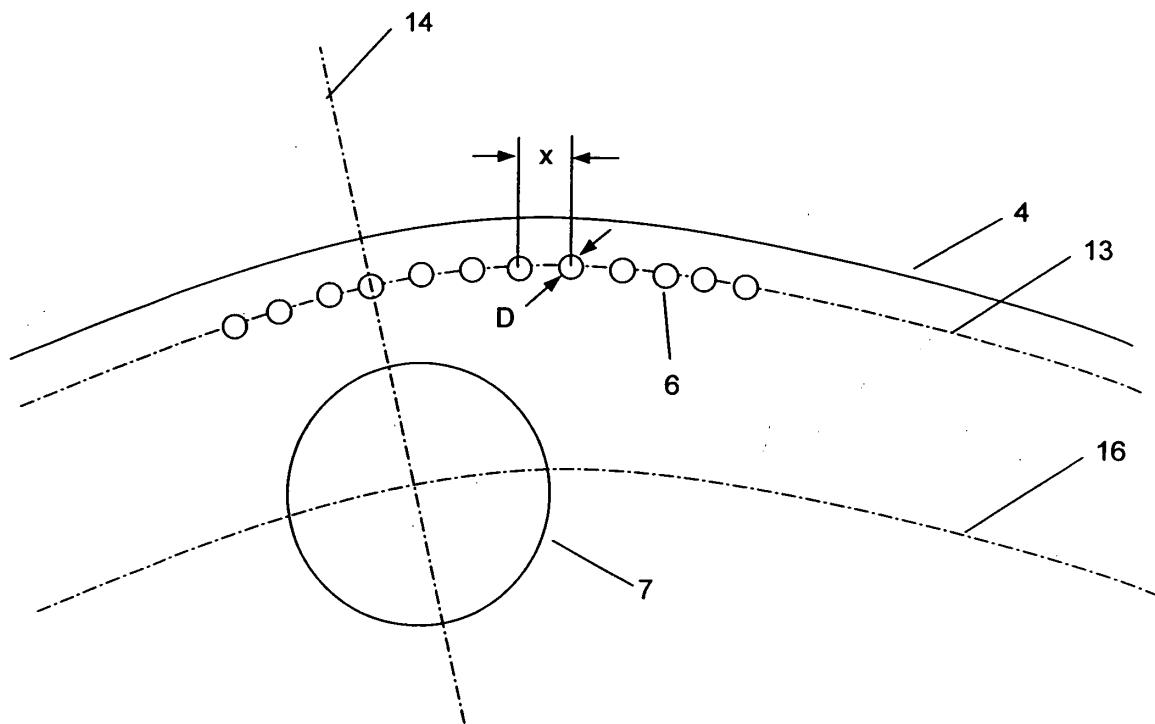


Abbildung 4:

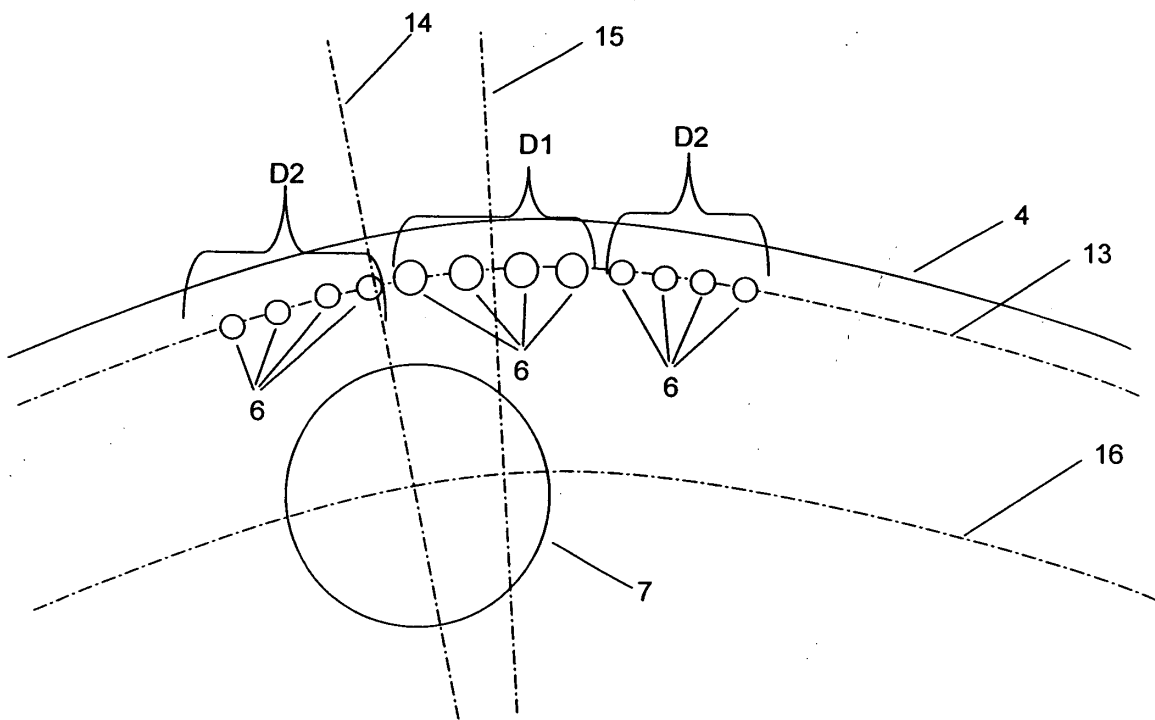


Abbildung 5:

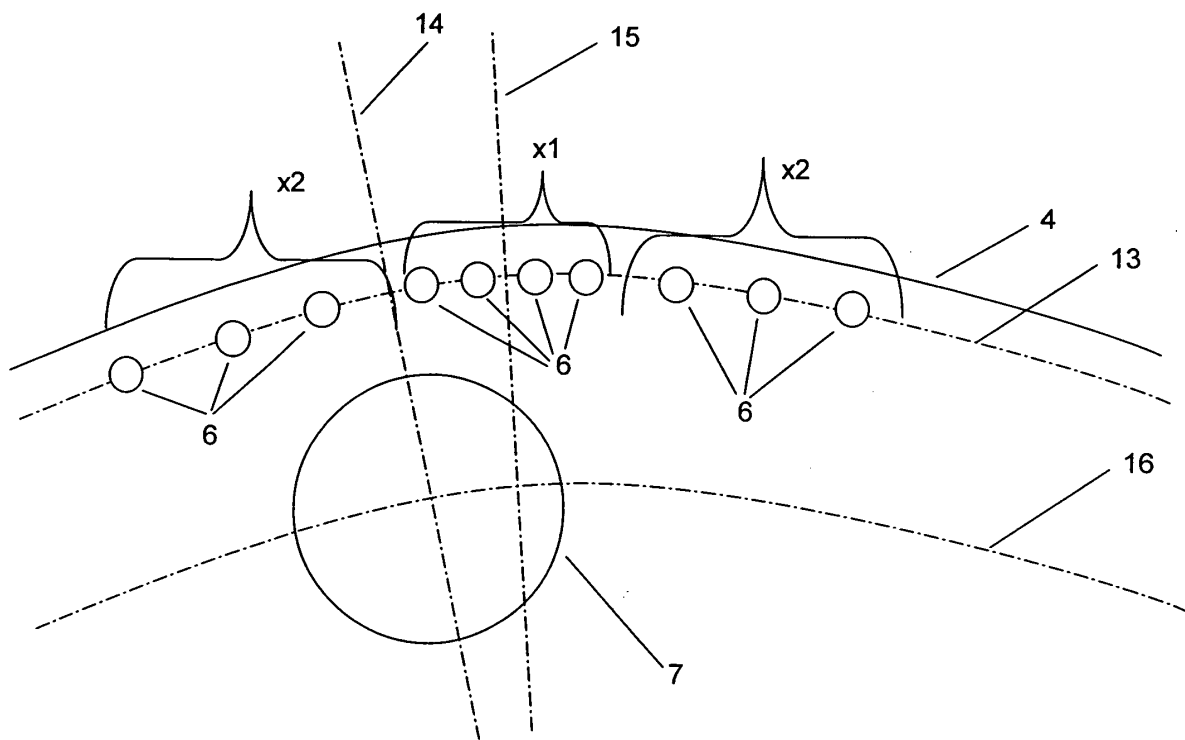


Abbildung 6:

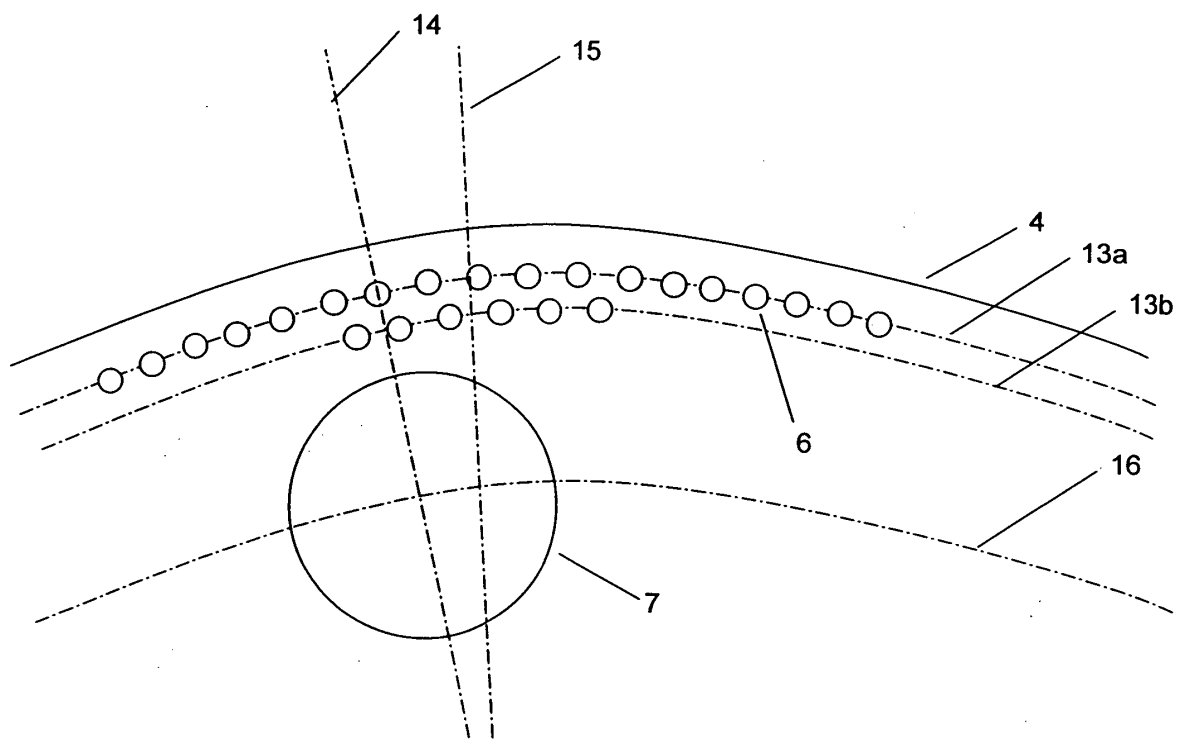


Abbildung 7:

