



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
05.04.2000 Patentblatt 2000/14

(51) Int Cl.7: **F01D 5/18, F01D 25/12**

(21) Anmeldenummer: **99810803.9**

(22) Anmeldetag: **07.09.1999**

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

(72) Erfinder:
 • **Wilfert, Günter, Dr**
79790 Küssaberg (DE)
 • **Hermann, Carsten**
89231 Neu-Ulm (DE)

(30) Priorität: **01.10.1998 DE 19845147**

(74) Vertreter: **Liebe, Rainer et al**
ABB Business Services Ltd.,
Intellectual Property (SLE-I),
Haselstrasse 16/699
5401 Baden (CH)

(71) Anmelder: **ABB RESEARCH LTD.**
8050 Zürich (CH)

(54) **Vorrichtung und Verfahren zur Kühlung einer einseitig von Heissgas umströmten Wand**

(57) Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein entsprechendes Verfahren zur Kühlung einer einseitig von Heissgas umgebenen Wand mit einer weiter verbesserten Kühlwirkung zu schaffen. Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass im Kühlhohlraum (5), stromauf jeder Ausnehmung (10), ein in letztere mündendes Umlenkelement (15) für das Kühlfluid (7) angeordnet und mittels Seitenwänden (16)

gegenüber dem Kühlhohlraum (5) abgeschlossen ist. Auf diese Weise wird stromauf jeder Ausnehmung eine Teilströmung (21) des Kühlfluids (7) von der Hauptströmung (22) separiert. Lediglich diese Teilströmungen (21) werden bereits vor Erreichen der zugehörigen Ausnehmungen (10) in deren Richtung umgelenkt, so dass in jeder der Ausnehmungen ein stabiles Innenwirbel-paar (23) erzeugt wird.

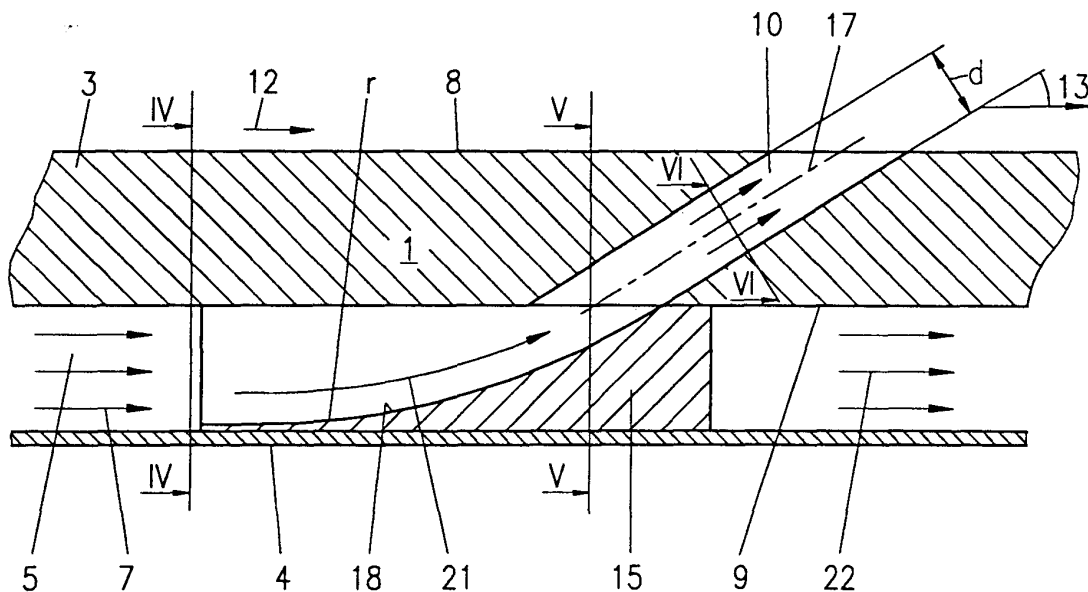


FIG.3

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Kühlung einer einseitig von Heissgas umgebenen Wand, insbesondere des Hohlprofilkörpers einer Gasturbinenschaufel, entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Zur Steigerung der Leistung und des Wirkungsgrades werden bei den heutigen Gasturbinenanlagen immer höhere Turbineneintrittstemperaturen verwendet. Um die Turbinenschaufeln vor den erhöhten Heissgastemperaturen zu schützen, müssen diese intensiver als bisher gekühlt werden. Bei entsprechend hohen Turbineneintrittstemperaturen reicht daher eine rein konvektive Kühlung nicht mehr aus. Abhilfe schafft hier die Filmkühlung, bei der die Turbinenschaufeln durch Kühlfilme vor dem Heissgas geschützt werden. Dazu sind in den Schaufeln entsprechende Ausnehmungen in Form von Bohrungen oder Schlitzten eingebracht, durch welche die Kühlluft ausgeblasen wird.

[0003] Eine solche Kombination von konvektiver Kühlung und Filmkühlung einer mit einem Kühleinsatz versehenen Turbinenschaufel ist bereits aus der EP-A2-258 754 bekannt. Die aus Öffnungen des Kühleinsatzes austretende Kühlluft prallt mit hoher konvektiver Kühleffektivität zunächst auf die innere Oberfläche des Schaufelmantels, und wird danach im Hohlraum zwischen Kühleinsatz sowie Schaufelmantel verteilt. Schliesslich tritt die Kühlluft über Bohrungen im Schaufelmantel auf dessen äussere Oberfläche aus, wobei letztere eine Filmkühlung erfährt.

[0004] Für einen optimalen Kühleffekt muss die ausgeblasene Kühlluft möglichst schnell umgelenkt werden und schützend an der Profiloberfläche entlangströmen. Um auch die zwischen den Bohrungen liegenden Gebiete zu schützen, ist zudem eine schnelle seitliche Ausbreitung der Kühlluft erforderlich. In den Mischungsbereichen des Heissgases mit den Kühlluftstrahlen entstehen verschiedenste Wirbel, welche eine entscheidende Bedeutung für die Schutzwirkung einer Kühlkonfiguration besitzen. Beispielsweise wird durch die Krümmung der Kühlluftstrahlen bei deren Austritt aus den Bohrungen ein sogenannter Nierenwirbel, d.h. ein aus einem rechts- und einem linksdrehenden Wirbel bestehendes Wirbelpaar, erzeugt. Dieser Nierenwirbel transportiert jedoch einen Teil des Heissgases zwischen den Bohrungen direkt auf die Profiloberfläche der Turbinenschaufel und damit unter die Kühlluftstrahlen, was sich als gravierender Nachteil erweist.

[0005] Es ist bereits bekannt, durch eine entsprechende Gestaltung (Konturierung) der Innengeometrie der Turbinenschaufel die Kühlluft so in die Bohrung umzulenken, dass dort ein Wirbelpaar, mit einem zum Nie-

renwirbel entgegengesetzten Drehsinn entsteht (G. Wilfert, Dissertationsschrift zum Thema "Experimentelle und numerische Untersuchungen der Mischungsvorgänge zwischen Kühlfilmen und Gitterströmung an einem hochbelasteten Turbinengitter", S.54, S.70-74 und Abb. 7.2, München 1994). Aufgrund eines solchen Innenwirbels dissipiert der Nierenwirbel sehr schnell und das Heissgas wird nicht seitlich unter den Kühlluftstrahl eingesaugt, sondern durch den Ausblasestrahl gekühlt zur Profiloberfläche geführt. Damit ist es möglich, die Kühleffektivität im Bohrungszwischenraum vorteilhaft und ohne vermehrte Zufuhr von Kühlluft zu steigern.

[0006] Ein gravierender Nachteil dieser Lösung ist jedoch die schwache Intensität des Innenwirbels, so dass sich dieser relativ schnell auflöst und nicht dauerhaft zur Verbesserung der Kühleffektivität genutzt werden kann. Gemäss der DE 196 12 840 A1 wurde hierzu bereits eine Verbesserung bekannt. Dazu ist im Kühlhohlraum, stromauf der Kühlbohrung, eine Rippe angeordnet und der Kühleinsatz im Bereich der Kühlbohrungen in Richtung der zu kühlenden Wand verformt. Auf diese Weise kann die Einstromung des Kühlfluids in die Kühlbohrungen und damit die Kühleffektivität verbessert werden.

Darstellung der Erfindung

[0007] Die Erfindung versucht alle diese Nachteile zu vermeiden. Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein entsprechendes Verfahren zur Kühlung einer einseitig von Heissgas umgebenen Wand mit einer weiter verbesserten Kühlwirkung zu schaffen.

[0008] Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht, dass bei einer Vorrichtung gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1, im Kühlhohlraum, stromauf jeder Ausnehmung, ein in letztere mündendes Umlenkelement für das Kühlfluid angeordnet ist. Das Umlenkelement ist zudem mittels Seitenwänden gegenüber dem Kühlhohlraum abgeschlossen.

[0009] Mit dieser die konvektive Kühlung und die Filmkühlung kombinierenden Kühlkonfiguration wird die Einstromung des Kühlfluids in die Ausnehmungen und die Strömung innerhalb der Ausnehmungen deutlich verbessert, so dass es nach der Ausblasung des Kühlfluids in das Heissgas zu einer besseren Verteilung des Kühlfluids auf der zu kühlenden Oberfläche kommt. Dies führt insgesamt zu einem deutlichen Anstieg der Filmkühleffektivität. Dazu wird stromauf jeder Ausnehmung eine Teilströmung des Kühlfluids separiert. Lediglich diese Teilströmungen werden bereits vor Erreichen der zugehörigen Ausnehmungen in deren Richtung umgelenkt. Auf diese Weise kommt es zu einer gerichteten Einleitung des Kühlfluids in die Ausnehmungen, so dass in jeder der Ausnehmungen ein starkes Wirbelpaar mit einem entgegengesetzt zum Nierenwirbel ausgerichteten Drehsinn entsteht. Dieser sogenannte Innenwirbel mischt sich bis zu seinem Austritt aus der Ausnehmung nicht aus und sorgt somit für eine schnelle Auflösung des Nierenwirbels. Dadurch wird das Heissgas nicht

mehr seitlich unter den Kühlluftstrahl eingesaugt, sondern durch diesen gekühlt zur Oberfläche der Wand geführt. Auf diese Weise kann eine entscheidende Verbesserung der Filmkühlung erzielt werden.

[0010] Demgegenüber kann das nicht von den Umlenkelementen erfasste Kühlfluid relativ ungestört zwischen den benachbarten Umlenkelementen hindurchströmen. Dabei wirken die einzelnen Umlenkelemente als Kühlrippen, wodurch auch die konvektive Kühlung der Wand im Bereich zwischen den Ausnehmungen verbessert wird. Schlussfolgernd daraus wird nicht nur die Filmkühlung, sondern die gesamte Kühlung der Wand erheblich verbessert. Dadurch kann Kühlluft eingespart und anderweitig verwendet werden.

[0011] Eine derart gekühlte Wand kann nicht nur als Hohlprofilkörper einer Gasturbinenschaufel ausgebildet, sondern vorteilhaft auch als Brennkammerwand oder auch als Wärmestausegment einer Gasturbine verwendet werden.

[0012] Es ist besonders zweckmässig, wenn jede Ausnehmung eine Mittelachse und jedes Umlenkelement eine Umlenkfläche aufweist, wobei jede Umlenkfläche unmittelbar stromauf der zugehörigen Ausnehmung zumindest annähernd parallel zur Mittelachse dieser Ausnehmung ausgerichtet ist. Damit kann die Entstehung von Rezirkulationsgebieten in den Ausnehmungen verhindert werden, was zu einer Reduzierung der Strömungsverluste führt.

[0013] Ferner ist es vorteilhaft, wenn die Umlenkfläche gekrümmt ausgebildet ist und einen zumindest annähernd stetigen Krümmungsradius aufweist. Mit einer solchen Kühlkonfiguration können die Verluste bei der Einströmung des Kühlfluids in die Ausnehmung weiter verringert werden.

[0014] Indem die einer Reihe von Ausnehmungen zugeordneten Umlenkelemente über einen wandseitigen Steg zu einem Umlenkeinsatz verbunden sind, können der Montageaufwand und damit die Herstellungskosten einer solchen Kühlvorrichtung verringert werden.

[0015] Werden die Umlenkelemente mit der Wand verbunden und liegen zudem am Kühleinsatz an, dienen sie vorteilhaft auch als Abstandhalter zwischen der zu kühlenden Wand und dem Kühleinsatz.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0016] In der Zeichnung sind zwei Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand einer Gasturbinenleitschaufel dargestellt.

[0017] Es zeigen:

- Fig. 1 einen Profilquerschnitt einer Gasturbinenleitschaufel des Standes der Technik;
- Fig. 2 eine schematische Darstellung des auf der äusseren Oberfläche des Aussenmantels ausgebildeten Nierenwirbels, in Hauptströmungsrichtung gesehen;
- Fig. 3 einen vergrösserten Ausschnitt der erfindungsgemäss ausgebildeten Gasturbinenleitschaufel, im Bereich einer der Ausnehmungen der Schaufelwand;

einen Schnitt IV-IV durch den Kühlhohlraum, mit einer Vorderansicht zweier nebeneinander angeordneter Umlenkelemente, gemäss Fig. 3;

Fig. 4 einen Schnitt V-V durch die Ausnehmung der Leitschaufel, im Bereich der Umlenkelemente, entsprechend Fig. 3;

Fig. 5 einen Schnitt VI-VI durch die Ausnehmung der Leitschaufel, entsprechend Fig. 3;

Fig. 6 eine Darstellung gemäss Fig. 5, jedoch in einem zweiten Ausführungsbeispiel.

Fig. 7 Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Nicht dargestellt ist die gesamte Gasturbinenanlage mit dem Verdichter und der Gasturbine. Die Strömungsrichtung der Arbeitsmittel ist mit Pfeilen bezeichnet.

[0018] Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Nicht dargestellt ist die gesamte Gasturbinenanlage mit dem Verdichter und der Gasturbine. Die Strömungsrichtung der Arbeitsmittel ist mit Pfeilen bezeichnet.

Weg zur Ausführung der Erfindung

[0019] Die Leitschaufel 1 einer Gasturbine besteht aus einem Hohlprofilkörper 2, der eine als Aussenmantel ausgebildete Wand 3, einen im Abstand dazu angeordneten Kühleinsatz 4 und einen zwischen beiden ausgebildeten Kühlhohlraum 5 aufweist. Im Inneren des Kühleinsatzes 4 ist ein Schaufelhohlraum 6 ausgebildet, welcher auf herkömmliche Weise mit dem nicht dargestellten Verdichter der Gasturbinenanlage verbunden ist und von diesem mit als Kühlfluid 7 dienender Kühlluft beaufschlagt wird. Der Aussenmantel 3 besitzt eine äussere und eine innere Oberfläche 8, 9, zwischen denen mehrere Reihen von als Kühlbohrungen ausgebildete Ausnehmungen 10 angeordnet sind. Der Schaufelhohlraum 6 ist über mehrere im Kühleinsatz 4 angeordnete Öffnungen 11 mit dem Kühlhohlraum 5 verbunden (Fig. 1). Natürlich kann die Leitschaufel 1 auch nur eine einzige Reihe von Kühlbohrungen 10 besitzen.

[0020] Während des Betriebs der Gasturbinenanlage strömt Heissgas 12 aus der nicht dargestellten Brennkammer über die Leitschaufeln 1 und die ebenfalls nicht gezeigten Laufschaufeln der Gasturbine. Daher müssen diese ständig gekühlt werden. Die Kühlung der Leitschaufeln 1 erfolgt mittels der vom Verdichter herangeführten Kühlluft 7, wobei diese über die Öffnungen 11 des Kühleinsatzes 4 in den Kühlhohlraum 5 eindringt und zunächst die innere Oberfläche 9 des Aussenmantels 3 konvektiv kühlt. Anschliessend wird die Kühlluft 7 durch die Kühlbohrungen 10 in einer Vielzahl von Kühlluftstrahlen auf der äusseren Oberfläche 8 des Aussenmantels 3 ausgeblasen. Die Krümmung dieser Kühlluftstrahlen bei ihrem Austritt in die Hauptströmung des Heissgases 12 erfolgt in einem Austrittswinkel 13 von etwa 30°. Dabei werden im Mischungsbereich Sekundärströmungen erzeugt, die ein Wirbelpaar 14 mit einem rechts- und einem linksdrehenden Wirbel bilden.

Dieser sogenannte Nierenwirbel 14 transportiert das Heissgas 12 direkt auf die äussere Oberfläche 8 der Leitschaukel 1 (Fig. 2). Um Schäden an der Leitschaukel 1 zu verhindern, muss jedoch ihr direkter Kontakt mit dem Heissgas 12 vermieden werden.

[0021] In Fig. 3 ist ein vergrösserter Ausschnitt einer erfindungsgemäss ausgebildeten Leitschaukel 1 dargestellt. Bei dieser Leitschaukel 1 ist im Kühlhohlraum 5, stromauf jeder Reihe von Kühlbohrungen 10, ein in letztere mündendes Umlenkelement 15 für das Kühlfluid 7 angeordnet und mittels Seitenwänden 16 gegenüber dem Kühlhohlraum 5 abgeschlossen (Fig. 4, Fig. 5). Jede Kühlbohrung 10 weist eine Mittelachse 17 und jedes Umlenkelement 15 eine Umlenkfläche 18 auf. Dabei ist jede Umlenkfläche 18 unmittelbar stromauf der zugehörigen Kühlbohrung 10 annähernd parallel zur Mittelachse 17 dieser Kühlbohrung 10 ausgerichtet. Die Umlenkfläche 18 ist gekrümmt ausgebildet und besitzt einen annähernd stetigen Krümmungsradius r . Letzterer, bei dem es sich um den Übergangsradius vom Kühleinsatz 4 zur Kühlbohrung 10 handelt, entspricht bei einer im Winkel von 30° ausgebildeten Kühlbohrung 10 etwa dem 15fachen Durchmesser d der zugehörigen Kühlbohrung 10 (Fig. 3). Bei grösseren Abständen des Kühleinsatzes 4 von der Wand 3 werden die Übergangsradien grösser, bei grösseren Austrittswinkeln 13 jedoch kleiner. Die einer Reihe von Kühlbohrungen 10 zugeordneten Umlenkelemente 15 sind über einen wandseitigen Steg 19 zu einem Umlenkeinsatz 20 verbunden (Fig. 4, Fig. 5, Fig. 7).

[0022] Aufgrund dieser Kühlkonfiguration wird stromauf jeder Kühlbohrung 10 eine Teilströmung 21 der Kühlluft 7 separiert, wobei lediglich diese Teilströmungen 21 im Kühlhohlraum 5 in Richtung der zugehörigen Kühlbohrungen 10 umgelenkt und letztlich in diese eingeführt werden (Fig. 3). Besonders wichtig ist dabei die durch die Seitenwände 16 der Umlenkelemente 15 erfolgende Abschirmung dieser Teilströmungen 21 von einer zwischen den benachbarten Umlenkelementen 15 hindurchströmenden Hauptströmung 22 der Kühlluft 7. Infolge dieser relativ ungestörten und gerichteten Einleitung der Kühlluft 7 in die Kühlbohrungen 10 können die dort andernfalls unweigerlich entstehenden Rezirkulationsgebiete vermieden werden. Dadurch kann sich im Inneren der Kühlbohrungen 10 jeweils ein entgegengesetzt zu den Nierenwirbeln 14 ausgerichtetes Wirbelpaar 23 ausbilden (Fig. 6). Diese sogenannten Innenwirbel 23 sind deutlich stabiler, als das bisher möglich war. Sie mischen sich daher im Inneren der Kühlbohrungen 10 nicht aus und bleiben somit auch beim Austritt aus den Kühlbohrungen 10 erhalten. Dort sorgen sie schliesslich für eine schnelle Auflösung der unerwünschten Nierenwirbel 14. Dadurch wird das Heissgas 12 gekühlt zur äusseren Oberfläche 8 des Aussenmantels 3 der Leitschaukel 1 geführt, was eine entscheidende Verbesserung der Filmkühlung zur Folge hat.

[0023] Wie in den Figuren 3 bis 5 gezeigt, sind die Umlenkelemente 15 massiv gefertigt, mit der Wand 3

verbunden und liegen zudem am Kühleinsatz 4 an. Jedes Umlenkelement 15 bildet somit gleichzeitig einen Abstandhalter zwischen dem Kühleinsatz 4 und der zu kühlenden Wand 3.

[0024] In Figur 7 ist ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem aus einem tiefgezogenen Blech gefertigten Umlenkelement 15 bzw. einem entsprechenden Umlenkeinsatz 20 dargestellt. Die Funktion dieser Lösung ist im wesentlichen analog dem ersten Ausführungsbeispiel.

[0025] Eine solche Kühlkonfiguration ist natürlich nicht auf die Leitschaukeln 1 von Gasturbinen beschränkt. Sie kann ebenso bei Laufschaufeln, Brennkammerwänden, Wärmestausegmenten von Gasturbinen oder bei anderen, einseitig von Heissgas 12 umgebenen Wänden 3 eingesetzt werden.

Bezugszeichenliste

- [0026]**
- | | |
|----|--------------------------|
| 1 | Leitschaukel |
| 2 | Hohlprofilkörper |
| 3 | Wand, Aussenmantel |
| 4 | Kühleinsatz |
| 5 | Kühlhohlraum |
| 6 | Schaukel hohlraum |
| 7 | Kühlfluid, Kühlluft |
| 8 | Oberfläche, äussere |
| 9 | Oberfläche, innere |
| 10 | Ausnehmung, Kühlbohrung |
| 11 | Öffnung |
| 12 | Heissgas |
| 13 | Austrittswinkel, von 10 |
| 14 | Wirbelpaar, Nierenwirbel |
| 15 | Umlenkelement |
| 16 | Seitenwand |
| 17 | Mittelachse |
| 18 | Umlenkfläche |
| 19 | Steg |
| 20 | Umlenkeinsatz |
| 21 | Teilströmung, von 7 |
| 22 | Hauptströmung, von 7 |
| 23 | Wirbelpaar, Innenwirbel |
| d | Durchmesser, von 10 |
| r | Krümmungsradius, von 18 |

Patentansprüche

- 1.** Vorrichtung zur Kühlung einer einseitig von Heissgas umgebenen Wand, insbesondere des Hohlprofilkörpers einer Gasturbinenschaukel, bestehend aus der mit einer äusseren und einer inneren Oberfläche (8, 9) ausgestatteten Wand (3), einem im wesentlichen parallel zur Wand (3) angeordneten und gemeinsam mit letzterer einen Kühlhohlraum (5) bildenden Kühleinsatz (4) sowie einer Reihe oder

mehreren, in Strömungsrichtung eines Kühlfluids (7) hintereinander angeordneten, Reihen von zwischen den beiden Oberflächen (8, 9) der Wand (3) ausgebildeten Ausnehmungen (10), dadurch gekennzeichnet, dass im Kühlhohlraum (5), stromauf jeder Ausnehmung (10), ein in letztere mündendes Umlenkelement (15) für das Kühlfluid (7) angeordnet und mittels Seitenwänden (16) gegenüber dem Kühlhohlraum (5) abgeschlossen ist.

5

10

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede Ausnehmung (10) eine Mittelachse (17) und jedes Umlenkelement (15) eine Umlenkfläche (18) aufweist, wobei jede Umlenkfläche (18) unmittelbar stromauf der zugehörigen Ausnehmung (10) zumindest annähernd parallel zur Mittelachse (17) dieser Ausnehmung (10) ausgerichtet ist.

15

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkfläche (18) gekrümmt ausgebildet ist und einen zumindest annähernd stetigen Krümmungsradius (r) aufweist.

20

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die einer Reihe von Ausnehmungen (10) zugeordneten Umlenkelemente (15) über einen wandseitigen Steg (19) zu einem Umlenkeinsatz (20) verbunden sind.

25

30

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Umlenkelemente (15) mit der Wand (3) verbunden sind und zudem am Kühleinsatz (4) anliegen.

35

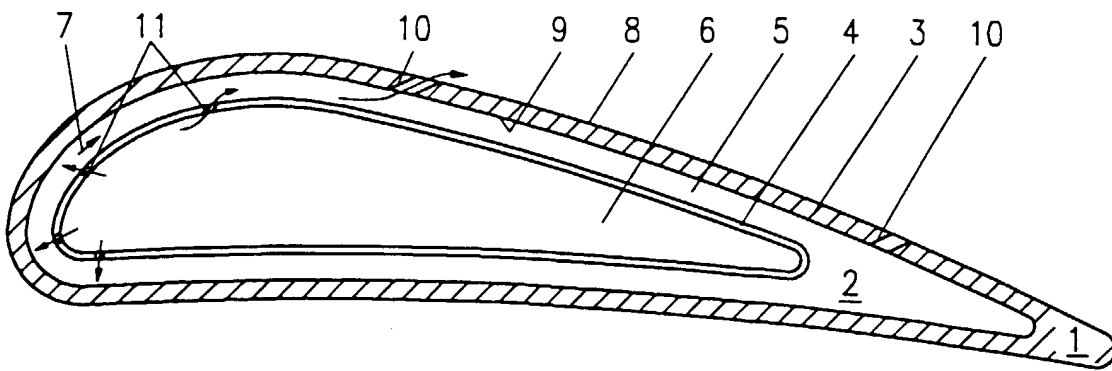
6. Verfahren zur Kühlung einer einseitig von Heissgas umgebenen Wand, insbesondere des Hohlprofilkörpers einer Gasturbinenschaufel, bei dem ein Kühlfluid (7) zunächst in einen Kühlhohlraum (5) zwischen der zu kühlenden Wand (3) und einem Kühleinsatz (4) geführt und anschliessend über zumindest ein Reihe von Ausnehmungen (10) der Wand (3) ausgeblasen wird, wobei bereits vor Erreichen der Ausnehmungen (10) eine Umlenkung des Kühlfluids (7) in Richtung der Ausnehmungen (10) erfolgt, dadurch gekennzeichnet, dass stromauf jeder Ausnehmung (10) eine Teilströmung (21) des Kühlfluids (7) separiert und lediglich diese Teilströmungen (21) in Richtung der zugehörigen Ausnehmungen (10) umgelenkt werden.

40

45

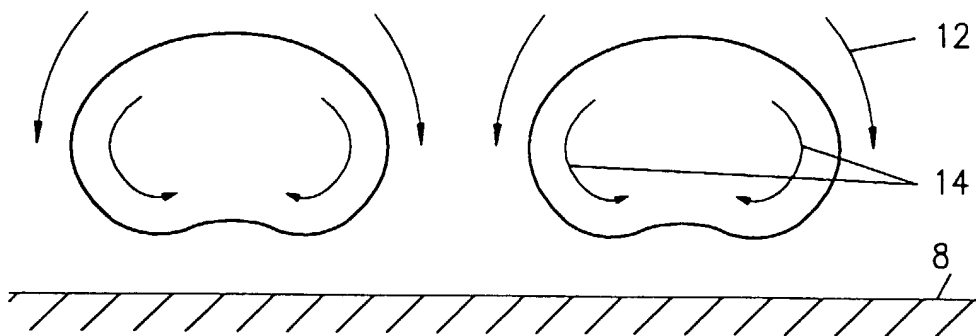
50

55



Stand der Technik

FIG. 1



Stand der Technik

FIG. 2

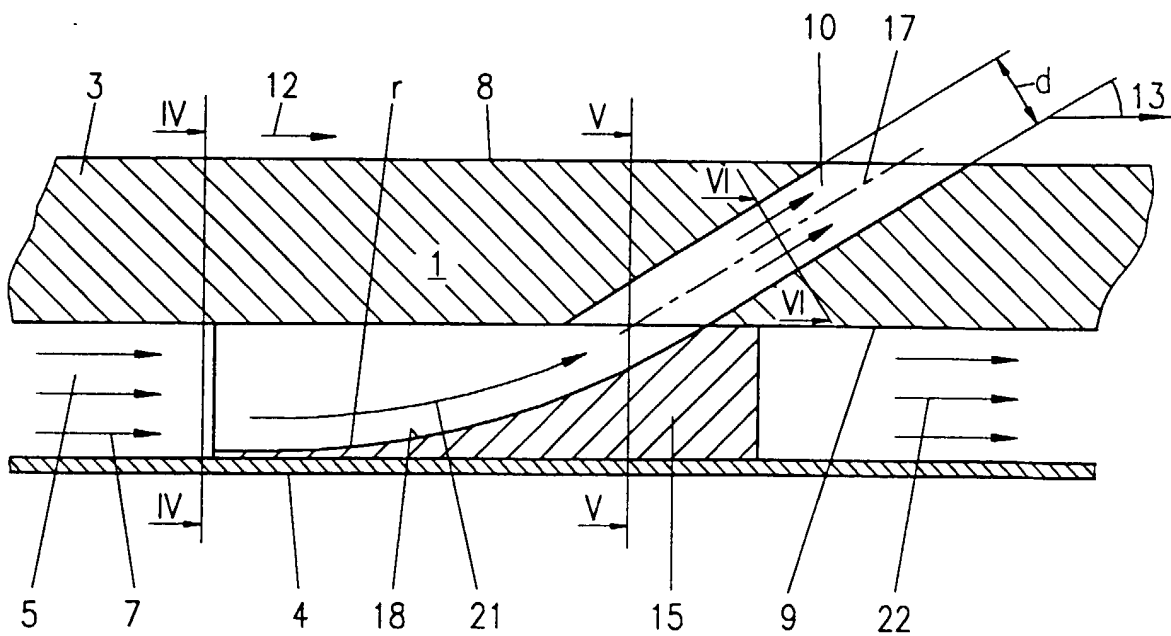


FIG. 3

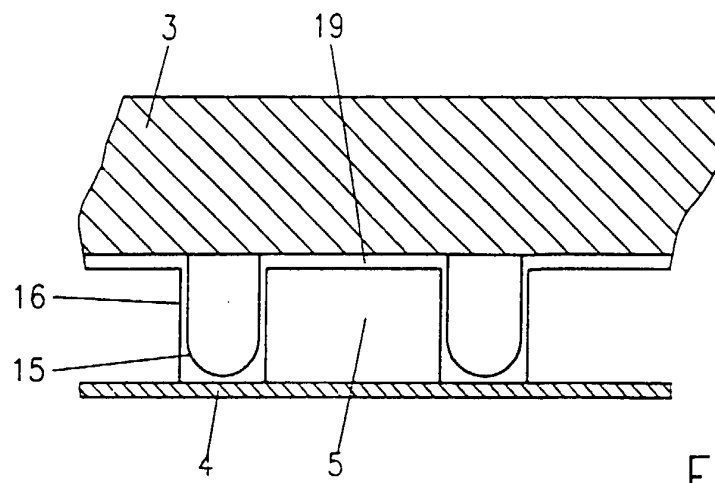


FIG. 4

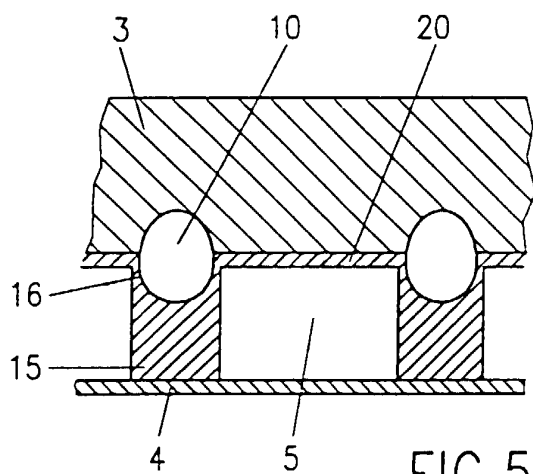


FIG. 5

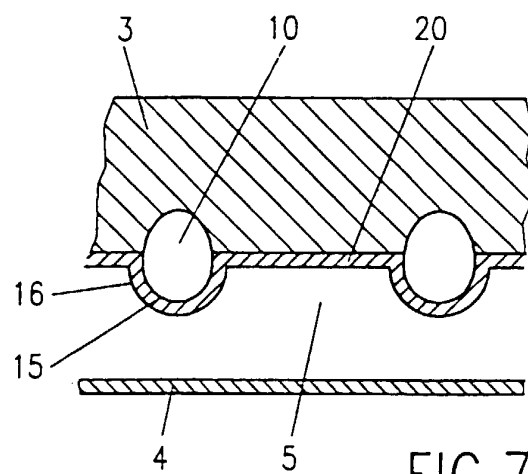


FIG. 7

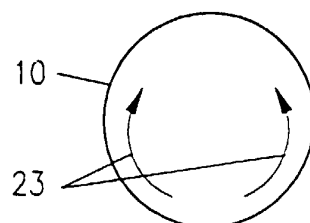


FIG. 6