(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 507 957 B1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
**24.08.2005 Patentblatt 2005/34**

(21) Anmeldenummer: **03732591.7**

(22) Anmeldetag: **14.05.2003**

(51) Int Cl.[7]: **F01D 5/18**

(86) Internationale Anmeldenummer:
**PCT/EP2003/050162**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
**WO 2003/098008 (27.11.2003 Gazette 2003/48)**

(54) **KÜHLBARES BAUTEIL UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER DURCHTRITTSÖFFNUNG IN EINEM KÜHLBAREM BAUTEIL**

COOLABLE COMPONENT AND METHOD FOR THE PRODUCTION OF A THROUGH-OPENING IN A COOLABLE COMPONENT

COMPOSANT A REFROIDIR ET PROCEDE DE REALISATION D'UN ORIFICE DE PASSAGE DANS UN COMPOSANT A REFROIDIR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**DE GB**

(30) Priorität: **22.05.2002 CH 8502002**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
**23.02.2005 Patentblatt 2005/08**

(73) Patentinhaber: **Alstom Technology Ltd**
**5400 Baden (CH)**

(72) Erfinder:
- **ANGUISOLA MCFEAT, Jose, Ma**
  **D-79761 Waldshut-Tiengen (DE)**
- **BALBACH, Werner, M.**
  **CH-5303 Würenlingen (CH)**

(56) Entgegenhaltungen:
**US-A- 4 820 122**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 507 957 B1

## Beschreibung

### Technisches Anwendungsgebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein kühlbares Bauteil gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie gibt weiterhin ein Verfahren an, eine Durchtrittsöffnung für ein Kühlmedium, in einem erfindungsgemässen Bauteil zu fertigen.

**[0002]** Auf dem Gebiet der Strömungsmaschinen, insbesondere der Gasturbinen in Anlagen zur Energieerzeugung oder in der Luftfahrt, werden zur Steigerung der Leistung zunehmend höhere Turbinen-Eintrittstemperaturen des Heißgases angestrebt und verwirklicht. Diese höheren Temperaturen stellen jedoch ein Problem für die Integrität der hochtemperaturbelasteten Turbinenkomponenten, insbesondere der Turbinenschaufeln, dar. Die Eintrittstemperaturen der ersten Turbinenstufe überschreiten in modernen Gasturbinen bereits den Schmelzpunkt des Schaufelmaterials. Zur Vermeidung von Schäden an den Turbinenschaufeln aufgrund dieser hohen Betriebstemperaturen wird eine Kühlung der Schaufelkomponenten über innerhalb der Schaufel verlaufende Kühlkanäle durchgeführt.

**[0003]** Eine bekannte Kühlungsmethode für die Kühlung von Gasturbinenschaufeln ist die interne, konvektive Kühlung. Bei dieser Kühltechnik, wie sie in der Fig. 1 schematisch dargestellt ist, wird Kühlluft durch die Rotorwelle in den Schaufelfuß eingeleitet und von dort in innerhalb des Schaufelblattes verlaufenden Kühlkanälen geführt, in denen sie die Wärme der Turbinenschaufel aufnimmt. Die erwärmte Kühlluft wird schließlich durch geeignet angeordnete Bohrungen und Schlitze aus der Turbinenschaufel ausgeblasen. In Kombination mit dieser konvektiven Kühlung werden in der Regel die so genannte Prall-Kühlung sowie die Film-Kühlung eingesetzt. Bei der Prallkühlung prallt die Kühlluft über kleine Durchgangsöffnungen auf die Innenseite der Wandung der Turbinenschaufel, während sie bei der Film-Kühlung über kleine Durchgangsöffnungen an die Außenfläche der Turbinenschaufel gelangt und dort einen dünnen Kühlluft-Film bildet. Die Kühlluft für die Kühlung der Turbinenschaufel stammt in der Regel von der Kompressorstufe, von der ein Teil der komprimierten Luft abgezweigt und zur Kühlung in die jeweiligen zu kühlenden Komponenten der Strömungsmaschine geführt wird.

**[0004]** Eine ausreichende und zuverlässige Kühlung von Komponenten einer Strömungsmaschine stellt einen wesentlichen Aspekt für deren Betrieb dar. Moderne Hochtemperatur-Gasturbinen erfordern zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades ein ausgeklügeltes Kühlsystem, insbesondere zur Kühlung der hochbelasteten Turbinenschaufeln. Beim Betrieb eines derartigen Kühlsystems einer Strömungsmaschine können jedoch Probleme bei einer Verstopfung der Kühlkanäle oder Kühlluftbohrungen durch Schmutz- oder Staubpartikel auftreten, die aus der Atmosphäre oder von stromauf der Kühlkanäle gelegenen Komponenten der Strömungsmaschine stammen können und mit dem Kühlmedium in die Kühlkanäle eingebracht werden. Eine Verstopfung einzelner Kühlkanäle oder Kühlluftbohrungen kann aufgrund eines nicht mehr aufrechterhaltenen Mindest-Massenstrom an Kühlmedium zu einer erheblichen lokalen Temperaturbelastung der zu kühlenden Komponente bis zu deren Beschädigung führen.

### Stand der Technik

**[0005]** Es gibt zahlreiche Maßnahmen zur Vermeidung der Verstopfung von Kühlluftbohrungen in Strömungsmaschinen. So ist es zur Vermeidung oder Verminderung der Verstopfungsgefahr beispielsweise bekannt, Staubabscheider, wie beispielsweise Zyklone, innerhalb des Kühlkreislaufs anzuordnen, die Schmutz- oder Staubpartikel vom Kühlmedium trennen. In diesen Staubabscheidern werden Wirbel im Kühlmedium erzeugt, durch die die Staub- und Schmutzpartikel aufgrund ihrer Trägheit vom Kühlmedium abgetrennt und über eine gesonderte Staubaustragsöffnung aus dem Kühlmedium entfernt werden.

**[0006]** Der Einsatz eines derartigen Staubabscheiders in Form eines Axialzyklons ist beispielsweise der DE 198 34 376 A1 zu entnehmen. Die von der Kompressorstufe kommende Kühlluft wird hierbei vor dem Eintritt in die erste Leitschaufel der Turbinenstufe durch den Axialzyklon geleitet. In dem Axialzyklon ist ein Drallerzeuger ausgebildet, der einen Wirbel in der Kühlluft erzeugt, aufgrund dessen die trägeren Staub- und Schmutzpartikel auf die Wandung des Axialzyklons auftreffen und von dort abfallen. Am Boden des Zyklons werden sie über entsprechende Austragkanäle abgezogen.

**[0007]** Bei einer weiteren Technik, die zum Teil in Kombination mit Staubabscheidern eingesetzt wird, sind in den Kühlkanälen innerhalb der Turbinenschaufel spezielle Staubaustragsöffnungen vorgesehen, aus denen größere Staub- oder Schmutzpartikel aufgrund ihrer Trägheit austreten. Ein Beispiel für die Anordnung derartiger Staubaustragsöffnungen in den Kühlkanälen ist beispielsweise der US-A-4820122 zu entnehmen.

**[0008]** Trotz der bisher realisierten Maßnahmen kann jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass Staub- oder Schmutzpartikel in die Kühlkanäle des zu kühlenden Bauteils bis zu den engen Durchtrittsöffnungen für das Kühlmedium gelangen und diese Durchtrittsöffnungen verstopfen.

### Darstellung der Erfindung

**[0009]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein kühlbares Bauteil anzugeben, welches die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden vermag, und eine spezielle Ausgestaltung einer Durchtrittsöffnung für das Kühlmedium anzugeben, die eine geringere Anfälligkeit für eine derartige Verstopfung

durch Staub- oder Schmutzpartikel aufweist, sowie ein zur Herstellung einer solchen Durchtrittsöffnung in einem kühlbaren Bauteil geeignetes Fertigungsverfahren.

**[0010]** Die Aufgabe wird mit der Durchtrittsöffnung gemäß Patentanspruch 1 sowie mit dem Verfahren zur Fertigung einer Durchtrittsöffnung gemäß Patentanspruch 20 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Durchtrittsöffnung sowie des Fertigungsverfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche oder lassen sich aus der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

**[0011]** Ein kühlbares Bauteil gemäss der Erfindung weist eine Durchtrittsöffnung für ein Kühlmedium auf, welche zunächst auf an sich bekannte Weise durch eine erste Öffnung eines ersten Öffnungsquerschnitts in einer aus einem ersten Material bestehenden Komponente gebildet ist. Kern der Erfindung ist es, in der ersten Öffnung einen Einsatz anzuordnen, welcher den Öffnungsquerschnitt der Durchtrittsbohrung auf einen zweiten Durchtrittsquerschnitt verkleinert. Dabei ist im allgemeinen der zweite Öffnungsquerschnitt der Sollwert des Öffnungsquerschnitts. Zwischen dem Einsatz und dem Grundmaterial des Bauteils, zweckmässig an der Grenzfläche zwischen dem Einsatz und dem Inneren der ersten Öffnung, wird dabei eine thermisch instabile Verbindung hergestellt, die sich beim Überschreiten einer Grenztemperatur löst. Die thermisch instabile Verbindung kann hergestellt sein, indem das Material des Einsatzes, beispielsweise ein Bondcoat- und/oder TBC-Material, unmittelbar in die erste Öffnung eingebracht ist, und dort anhaftet, wobei die Haftkraft zwischen den beiden Materialien temperaturabhängig variiert, und beim Überschreiten der Grenztemperatur den für den sicheren Sitz des Einsatzes in der ersten Öffnung notwendigen Wert unterschreitet. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein thermisch instabiles Material, etwa einen Klebstoff oder ein Lot, das bei hoher Temperatur weich wird und die Verbindung nicht aufrechtzuerhalten vermag, zur Herstellung der Verbindung insbesondere in einem Fügespalt zwischen Einsatz und Bauteil zu verwenden. Weiterhin könnte der Einsatz auch mit Übermass in die Öffnung eingesetzt sein, dergestalt, dass ein Presssitz entsteht, wobei eine Instabilität der Verbindung auf einfache Weise durch entsprechende Wahl der thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Materials des Bauteils und des Materials des Einsatzes erzielt wird.

**[0012]** Bevorzugt bestehen die thermisch instabile Verbindung und/oder den Einsatz aus einem Material, das im Kühlmedium oxidiert und dessen Oxide bei der gewünschten Temperatur verdampfen, wobei insbesondere die gebildeten Oxide Oxide aus der Reihe Chromoxid, Molybdänoxid und Wolframoxid sind.

**[0013]** Die thermisch instabile Verbindung kann aber auch aus einem Material besteht, das bei der gewünschten Temperatur seinen Schmelzpunkt überschreitet, wobei insbesondere die thermisch instabile Verbindung Metalle aus der Reihe Ag, Cu, Au, Al, Zn, Cd, In, Tl, Ge, Sn, Pb, Sb, und Bi einzeln oder in Verbindung miteinander enthält.

**[0014]** Weiterhin ist es denkbar, dass die thermisch instabile Verbindung Wood-Metall, Weichlot, Hartlot wie z.B. Messinglot, Neusilberlot, Silberlot, Al-Si-Lot, B-Cu55ZnAg, oder Nickelbasislot mit Silizium allein und/oder mit Bor, enthält, oder dass die thermisch instabile Verbindung Glaslot, insbesondere bleireiches Glas, Compositlot mit Codierit-Zusatz, oder Lötglas, enthält.

**[0015]** Es ist aber auch denkbar, dass die thermisch instabile Verbindung und/oder den Einsatz aus einem Material bestehen, das wegen der Überschreitung seiner Zeitstandsfestigkeit versagt, wobei das Material insbesondere ein Ag-Cu-Zn-Lot oder ein austenitischer Stahl ist.

**[0016]** Ebenso kann die thermisch instabile Verbindung und/oder der Einsatz aus einem Material bestehen, das wegen Überschreitung der Erweichungstemperatur versagt, wobei das Material insbesondere eine selbstfliessende NiCrFeSiB-Korrosionsschutzschicht ist.

**[0017]** Schliesslich ist es denkbar, dass die thermisch instabile Verbindung und/oder der Einsatz aus einem Material bestehen, das einen geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist und bei thermischer Überlastung aufgrund der auftretenden Spannungen und seiner Sprödigkeit versagt. Vorzugsweise ist dabei das Material eine Keramik, insbesondere $SiN_4$, oder unstabilisiertes oder teilstabilisiertes $ZrO_2$, oder ein Glas.

**[0018]** Ein geeignetes Verfahren, eine Durchtrittsöffnung für ein Kühlmedium gemäss der Erfindung in ein kühlbares Bauteil einzubringen besteht darin, zunächst eine erste Öffnung mit einem ersten Öffnungsquerschnitt in das Bauteil einzubringen, zum Beispiel zu bohren. In einem nächsten Schritt wird beispielsweise ein Bondcoat- und/oder ein TBC-Material so aufgebracht, dass die Öffnung im Wesentlichen verschlossen ist. Schliesslich kann in das zum Verschliessen eingebrachte Material die Durchflussöffnung mit dem zweiten Öffnungsquerschnitt eingearbeitet werden.

**[0019]** Die Funktionsweise der Erfindung ist nun folgende: In das Bauteil wird von wenigstens einer Seite Wärme eingebracht. Durch Kühlmittel-Durchtrittsöffnungen ausströmendes Kühlmedium nimmt Wärme aus dem Bauteil auf. Der zweite Öffnungsquerschnitt im Einsatz einer Durchtrittsöffnung ist so bemessen, dass im normalen ungestörten Betrieb ein mindesterforderlicher Kühlmittel-Massenstrom durch diese Öffnung strömt, der ausreicht, um die Materialtemperatur in der unmittelbaren Umgebung der Durchtrittsöffnung unterhalb der Grenztemperatur zu halten.

**[0020]** Eine Verstopfung des zweiten Öffnungsquerschnittes durch ein Staub- oder Schmutzpartikel führt zu einer Verminderung des Kühlmittel-Massenstroms unter das mindesterforderliche Mass. Dadurch steigen die Temperatur an der Kühlstelle und/oder der Druckabfall über den Einsatz in der Durchtrittsöffnung an. Beim

Überschreiten der Grenztemperatur wird die thermisch instabile Verbindung gelöst, so, dass sich der Einsatz schließlich zusammen mit dem verstopfenden Partikel aus der Durchtrittsöffnung löst und diese wieder für den Durchfluss des Kühlmediums freigibt. Nach diesem Ereignis verbleibt zwar mit dem ersten Öffungsquerschnitt ein etwas größerer Öffnungsquerschnitt als der Sollquerschnitt, die weitere Kühlung der entsprechenden Stelle der Komponente ist jedoch sichergestellt.

**[0021]** Als geeignete Materialien für den Einsatz können beispielsweise in der Gasturbinentechnik eingesetzte Abbinder (Bondcoat), TBC-Materialien (Thermal Barrier Coating) oder auch Painttest-Materialien eingesetzt werden. Selbstverständlich können auch andere, diese temperaturabhängigen Eigenschaften aufweisende Materialien, die auch speziell für diesen Anwendungszweck entwickelt werden können, eingesetzt werden.

**[0022]** Der Mechanismus, der zum Lösen des Einsatzes aus der Bohrung führt, kann auf unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften beruhen. So kann beispielsweise der Schmelzpunkt des für den Einsatz gewählten zweiten Materials der Grenztemperatur entsprechen. Das zweite Material kann bei Erreichen der Grenztemperatur auch derart unter mechanischer Spannung stehen, dass es oberhalb dieser Temperatur zerspringt. Wesentlich bei dieser Ausführungsform ist in jedem Fall, dass sich die Verbindung zwischen dem Einsatz und der Bohrung oberhalb der Grenztemperatur löst, so dass der Einsatz zusammen mit dem verstopfenden Partikel aus der Bohrung ausgetragen wird. Hierbei ist nicht in jedem Falle ein erhöhter Druckabfall an der Bohrung erforderlich. Es kann vielmehr der im normalen Betrieb ohne Verstopfung auftretende Druckabfall am Einsatz ausreichen.

**[0023]** In einer weiteren Ausführungsform ist die Temperaturabhängigkeit des zweiten Materials nicht unbedingt erforderlich. Bei dieser Ausführungsform wird die Haftung zwischen dem Einsatz und der Bohrung derart gewählt, dass sie durch die bei einer Verstopfung auftretende höhere Druckdifferenz am Einsatz dem anliegenden Druck nicht mehr standhält, so dass sich der Einsatz aus der Bohrung löst.

**[0024]** Die erfindungsgemässe Ausgestaltung von Kühlmittel-Durchtrittsöffnungen eignet sich für Komponenten von Strömungsmaschinen, insbesondere als Kühlluft-Austrittsöffnungen für Film- oder Prallkühlung in Turbinenschaufeln. Selbstverständlich lässt sich eine derartig ausgestaltete Durchtrittsöffnung auch in anderen Bereichen einsetzen, bei denen eine Verstopfung der Durchlassöffnungen unerwünschte Folgen haben kann.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0025]** Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals kurz erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 ein Beispiel für den Verlauf von Kühlkanälen in einer Turbinenschaufel in zwei unterschiedlichen Ansichten;

Fig. 2 ein Beispiel für die übliche Ausgestaltung einer Durchtrittsöffnung in einer zu kühlenden Komponente;

Fig. 3 ein Beispiel für die Ausgestaltung einer Durchtrittsöffnung in einer zu kühlenden Komponente gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 der Zustand der Verstopfung einer Durchtrittsöffnung gemäß Fig. 3;

Fig. 5 der Zustand der Durchtrittsöffnung gemäß Fig. 4 nach kurzer Zeit; und

Fig. 6 der Zustand der Durchtrittsöffnung gemäß Fig. 4 nach dem Lösen des Einsatzes.

## Wege zur Ausführung der Erfindung

**[0026]** Die Fig. 1 zeigt in zwei unterschiedlichen Ansichten schematisch den Aufbau einer Turbinenschaufel mit den darin verlaufenden Kühlkanälen. In der Schnittansicht der Fig. la ist der rotorseitige Einlass 3 für das Kühlmedium in die Turbinenschaufel zu erkennen. Die einströmende Kühlluft ist mit den drei Pfeilen angedeutet. Innerhalb der Turbinenschaufel 1 wird die Kühlluft über entsprechende Kühlkanäle 2 bis an die Vorder- und Hinterkante der Turbinenschaufel geleitet, an der die Kühlluft über Durchtrittsöffnungen austritt, wie dies ebenfalls mit den Pfeilen in der Figur angedeutet ist. Im Bereich der Kühlkanalumlenkung 4 an der Schaufelspitze der Turbinenschaufel 1 ist in der Regel eine Staubaustragsöffnung 5 ausgebildet, über die mit dem Kühlmedium mitgeführte Partikel aufgrund ihrer Trägheit aus der Turbinenschaufel austreten. Diese Staubaustragsöffnung soll verhindern, dass die unerwünschten größeren Partikel nicht bis zu den feinen Durchtrittsöffnungen an der Vorder- oder Hinterkante der Turbinenschaufel gelangen und dort die Durchtrittsöffnungen verstopfen.

**[0027]** Fig. 1b zeigt den schematischen Aufbau der Turbinenschaufel nochmals in einer perspektivischen Ansicht. In dieser Ansicht ist mit den beiden Blockpfeilen wiederum die in die Kühlkanäle 2 eintretende Kühlluft angedeutet. Die Kühlluft tritt über die Durchtrittsöffnungen 6 für Prallkühlung aus den Kühlkanälen aus und trifft von innen auf die Außenschale der Turbinenschaufel, um diese zu kühlen. Die Kühlluft wird dann über Kühlstifte, so genannte Kühlpins 7, bis zur Hinterkante der Turbinenschaufel weitergeführt und tritt dort aus. In der Figur sind weiterhin die Durchtrittsöffnungen 8 für die Film-Kühlung der Außenseite der Turbinenschaufel zu

erkennen, über die ebenfalls ein Teil der Kühlluft aus den Kühlkanälen 2 austritt.

**[0028]** Aufgrund des sehr kleinen Öffnungsquerschnitts der Durchtrittsöffnungen 6, 8 für die Prall-Kühlung bzw. die Film-Kühlung besteht die Gefahr der Verstopfung dieser Durchtrittsöffnungen durch Staub- oder Schmutzpartikel, die mit dem Kühlmedium, in der Regel der Kühlluft, mitgeführt werden. Trotz vorgeschalteter Staubabscheider sowie im Kühlkanal 2 innerhalb der Turbinenschaufel 1 angeordneter Staubaustragsöffnungen 5 lässt sich die Gefahr einer Verstopfung nicht vollständig ausschließen. Tritt eine derartige Verstopfung auf, so kommt es jedoch an der entsprechenden Kühlstelle zu einer erheblichen Temperaturbelastung, die bis zu einer Beschädigung der entsprechenden Komponente führen kann.

**[0029]** Durch die erfindungsgemässe Ausgestaltung der Durchtrittsöffnungen lässt sich die Gefahr einer Beschädigung der zu kühlenden Komponente bei einer Verstopfung der Durchtrittsöffnungen deutlich reduzieren.

**[0030]** Fig. 2 zeigt schematisch den typischen Aufbau einer Durchtrittsöffnung 8 für Kühlmedium, die von dem Material der zu kühlenden Komponente, hier vom Metall 9 des Schaufelblattes, umgeben ist. In gleicher Weise könnte es sich hierbei auch um eine Staubaustragsöffnung handeln.

**[0031]** Die Durchtrittsöffnung der vorliegenden Erfindung weist demgegenüber eine erste Öffnung auf sowie einen in der ersten Öffnung angeordneten Einsatz mit einem zweiten Öffnungsquerschnitt, wie dies aus der schematisierten Darstellung der Fig. 3 zu erkennen ist. Eine erste Öffnung, Bohrung, 10 der Durchtrittsöffnung 8 ist von dem Metall 9 des Schaufelblattes begrenzt. Innerhalb der ersten Öffnung 10 im Schaufelblatt ist ein Einsatz 11 befestigt, der aus einem beispielsweise temperaturabhängigen Füllmaterial gebildet ist. Der durch diesen Einsatz verkleinerte Öffnungsquerschnitt der Durchtrittsöffnung 8 entspricht dem in einer typischen Durchtrittsöffnung vorhandenen Öffnungsquerschnitt, wie er in der Fig. 2 realisiert ist.

**[0032]** Tritt nun während des Betriebes eine Verstopfung dieser Durchtrittsöffnung 8 mit einem Staubpartikel 12 auf, wie dies schematisch in der Fig. 4 dargestellt ist, so wird die Film-Kühlung an dieser Stelle unterbrochen, so dass die Turbinenschaufel 1 in der Umgebung der Durchtrittsöffnung 8 stärker erwärmt wird. Dadurch wird die Temperatur an der Übergangsstelle zwischen dem Einsatz 11 und dem Metall 9 des Schaufelblattes ebenfalls erhöht. Bei Erreichen einer bestimmten Grenztemperatur löst sich dann der Einsatz 11 aus der Bohrung 10, wie dies in der Fig. 5 dargestellt ist, da die Verbindung zwischen Einsatz und Komponente thermisch instabil wird.

**[0033]** Das Material des Einsatzes 11 ist derart gewählt, dass die Haftung zwischen dem Metall 9 des Schaufelblattes und dem Material des Einsatzes 11 ab einer erhöhten Temperatur, die während einer normalen Kühlung nicht erreicht wird, jedoch nach einer Verstopfung auftritt, stark nachlässt oder vollständig verschwindet. Die vorhandene Druckdifferenz des Druckes vor und hinter der Durchtrittsöffnung 8 führt dann zum Austrag des Einsatzes zusammen mit dem darin enthaltenen Staubpartikel 12, so dass die Durchlassöffnung 8 anschließend wieder frei ist (Fig. 6). Die Durchtrittsöffnung 8 weist zwar nach diesem Lösen des Einsatzes 11 einen größeren Querschnitt - entsprechend dem der ersten Öffnung 10 - auf, die Gefahr einer Beschädigung der zu kühlenden Komponente durch die Verstopfung wird jedoch dadurch vermieden.

**[0034]** Als thermisch instabile Materialien für die Verbindung zwischen dem Einsatz 11 und dem Metall 9 des Schaufelblattes bzw. für den Einsatz 11 selbst kommen insbesondere in Frage:

- Materialien die im Kühlmedium (abhängig von der Temperatur) oxidieren und deren Oxide bei einer bestimmten Temperatur verdampfen, wie Chromoxid oberhalb 900°C, Molybdänoxid und Wolframoxid oberhalb 600°C. Diese Materialien können sowohl für die Verbindung oder auch für den Einsatz selbst eingesetzt werden.
- Materialien die ihren Schmelzpunkt überschreiten (als reine Elemente oder als Verbindungen), wie Silber welches bei 960°C schmilzt, Kupfer, welches bei 1083°C schmilzt oder Gold, welches bei 1063°C schmilzt, oder bei Bedarf auch Al, Zn, Cd, In, Tl, Ge, Sn, Pb, Sb, und Bi, welche im reinen Zustand den Bereich von 660°C bis hinunter zu 156°C abdekken, welche aber auch in Verbindung untereinander und mit anderen Elementen beinahe auf jeden beliebigen Schmelzpunkt einzustellen sind (Wood-Metall60°C bis zu den Weichloten mit TA<450°C und den Hartloten mit TA>450°C (Messinglote, Neusilberlote, Silberlote, Al-Si-Lote, welche den Bereich bis über 800°C abdecken, B-Cu55ZnAg mit T A=830°C). Nickelbasislote mit Silizium allein und/oder mit Bor, wobei sich deren Schmelzpunkte durch Diffusion unter dem Einfluss von Temperatur und Zeit und Materialien noch verändern (erhöhen) decken den Temperaturbereich bis 1200°C ab. Kommt es unmittelbar beim Einbau der Schaufel zu erhöhter Temperaturbelastung, so wird die Verbindung bei der Arbeitstemperatur des Lotes versagen und die Kühlmenge wird erhöht, kommt es verzögert zu erhöhter Temperatur, so versagt die Verbindung erst bei höherer Temperatur verglichen mit der Löttemperatur. Ist die Abdiffusion von Elementen unerwünscht, so kann z.B. statt der Bor-Variante auch eine Silizium-Variante mit verringerter Diffusion ausgewichen werden. Soll der Schmelzpunkt des Lotes langfristig tiefgehalten werden, so ist für Hochtemperaturlote mit Diffusionssperren zu arbeiten. Glaslote, z.B. bleireiche Gläser mit 400 bis 500°C Löttemperatur, Compositlote u.a. mit Codierit-Zusatz und Lötgläser können je nach Bedarf

ebenfalls eingesetzt werden.

- Materialien die wegen Überschreitung ihrer Zeitstandfestigkeit versagen, wie z.B. Silber-Kupfer-Zink-Lote oberhalb 300°C, oder austenitische Stähle oberhalb 600°C.
- Materialien die Versagen wegen Überschreitung ihrer Erweichungstemperatur c wie z.B. bei selbstfliessenden NiCrFeSiB Korrosionsschutzschichten, aus welchen die Einsätze hergestellt werden können.
- Materialien mit geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten, welche bei thermischer Überlastung aufgrund der auftretenden Spannungen und ihrer Sprödigkeit versagen wie Keramiken ($SiN_4$, $ZrO_2$ unstabilisiert oder teilstabilisiert, Gläser).

**[0035]** Die obige Aufzählung ist beispielhaft gedacht und nicht abschliessend.

**BEZUGSZEICHENLISTE**

**[0036]**

| | |
|---|---|
| 1 | Turbinenschaufel |
| 2 | Kühlkanäle |
| 3 | Rotorseitiger Einlass |
| 4 | Kühlkanalumlenkung |
| 5 | Staubaustragsöffnung |
| 6 | Durchtrittsöffnungen für Prall-Kühlung |
| 7 | Kühlpins |
| 8 | Durchtrittsöffnungen, insbesondere für Film-Kühlung |
| 9 | Metall des Schaufelblattes |
| 10 | Bohrung der Durchtrittsöffnung, erste Öffnung |
| 11 | Einsatz |
| 12 | Staubpartikel |

**Patentansprüche**

**1.** Kühlbares Bauteil, insbesondere für eine Strömungsmaschine, mit einer Durchtrittsöffnung für ein Kühlmedium, die durch eine erste Öffnung (10) eines ersten Öffnungsquerschnitts in dem Bauteil (1) gebildet ist, in welcher ersten Öffnung (10) ein Einsatz (11) angeordnet ist, der den ersten Öffnungsquerschnitt auf einen zweiten Öffnungsquerschnitt verkleinert, wobei eine Verbindung an der Grenzfläche zwischen dem Bohrungsinneren und dem Einsatz (11) hergestellt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbindung eine thermisch instabile Verbindung ist, die sich beim Überschreiten einer Grenztemperatur löst.

**2.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung unmittelbar durch die Haftung des Einsatzes(11) in der ersten Öffnung (10)hergestellt ist.

**3.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung unmittelbar durch ein thermisch instabiles Material, insbesondere einen Klebstoff oder ein Lot hergestellt ist.

**4.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das thermisch instabile Material, als Schicht zwischen dem Einsatz (11) und dem Bauteil angeordnet ist.

**5.** Kühlbares Bauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Öffnungsquerschnitt so bemessen ist, um einen Mindest-Massenstrom des Kühlmediums durch den zweiten Öffnungsquerschnitt hindurch zu gewährleisten.

**6.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung so gewählt ist, dass die Grenztemperatur auf einem Wert liegt, der bei Aufrechterhaltung des Mindest-Massenstroms nicht erreicht wird, und, dass bei Unterschreitung des Mindestmassenstroms die Grenztemperatur erhöht wird, derart, dass bei Unterschreitung des Mindest-Massenstroms die Verbindung instabil wird und der Einsatz (11) sich aus der Durchtrittsöffnung löst, und so den ersten, grösseren, Öffnungsquerschnitt freigibt.

**7.** Kühlbares Bauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einsatz (11) aus einem ein Bondcoat- und/oder TBC-Material besteht.

**8.** Kühlbares Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung und/oder den Einsatz (11) aus einem Material bestehen, das im Kühlmedium oxidiert und dessen Oxide bei der gewünschten Temperatur verdampfen.

**9.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gebildeten Oxide Oxide aus der Reihe Chromoxid, Molybdänoxid und Wolframoxid sind.

**10.** Kühlbares Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung aus einem Material besteht, das bei der gewünschten Temperatur seinen Schmelzpunkt überschreitet.

**11.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 10, **dadurch ge-**

**kennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung Metalle aus der Reihe Ag, Cu, Au, Al, Zn, Cd, In, Tl, Ge, Sn, Pb, Sb, und Bi einzeln oder in Verbindung miteinander enthält.

**12.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung Wood-Metall, Weichlot, Hartlot wie z.B. Messinglot, Neusilberlot, Silberlot, Al-Si-Lot, B-Cu55ZnAg, oder Nickelbasislot mit Silizium allein und/oder mit Bor, enthält.

**13.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung Glaslot, insbesondere bleireiches Glas, Compositlot mit Codierit-Zusatz, oder Lötglas, enthält.

**14.** Kühlbares Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung und/oder den Einsatz (11) aus einem Material bestehen, das wegen der Überschreitung seiner Zeitstandsfestigkeit versagt.

**15.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material ein Ag-Cu-Zn-Lot oder ein austenitischer Stahl ist.

**16.** Kühlbares Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung und/oder den Einsatz (11) aus einem Material bestehen, das wegen Überschreitung der Erweichungstemperatur versagt.

**17.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material eine selbstfliessende NiCrFeSiB-Korrosionsschutzschicht ist.

**18.** Kühlbares Bauteil nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die thermisch instabile Verbindung und/oder den Einsatz (11) aus einem Material bestehen, das einen geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist und bei thermischer Überlastung aufgrund der auftretenden Spannungen und seiner Sprödigkeit versagt.

**19.** Kühlbares Bauteil nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material eine Keramik, insbesondere $SiN_4$, oder unstabilisiertes oder teilstabilisiertes $ZrO_2$, oder ein Glas ist.

**20.** Verfahren zur Fertigung einer Durchtrittsöffnung für einen vorgebbaren Durchfluss eines Kühlmediums in einem Bauteil gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine erste Öffnung (10) mit einem ersten Öffnungsquerschnitt in die Komponente (1) eingebracht wird,
**gekennzeichnet durch** die Schritte,
Einbringen der ersten Öffnung, mit einem ersten Öffnungsquerschnitt, der größer ist als für den vorgebbaren Durchfluss des Kühlmediums erforderlich; Einbringen eines Einsatzes (11) in die erste Öffnung (10); Herstellen der Verbindung zwischen dem Einsatz und dem Bauteil.

**21.** Verfahren nach Anspruch 20,
**dadurch gekennzeichnet,**
**dass** zum Einbringen des Einsatzes (11) die erste Öffnung (10) vollständig verschlossen wird, und, dass anschießend eine Öffnung mit dem zweiten Öffnungsquerschnitt in dem zum Verschlissen eingebrachten Material hergestellt wird.

**22.** Verfahren nach einem der Ansprüche 20 oder 21, **gekennzeichnet durch** den weiteren Verfahrensschritt,
dass vor Einbringen des Einsatzes (11) in thermisch instabiles Material auf die Aussenfläche des Einsatzes und/oder auf die Innenfläche der ersten Öffnung aufgebracht wird.

**Claims**

**1.** Coolable component, in particular for a continuous flow machine, having an aperture opening for a cooling medium, which is formed by a first opening (10) with a first opening cross section in the component (1) and in which an insert (11) is arranged, which reduces the size of the first opening cross section to a second opening cross section, with a connection being produced at the boundary surface between the hole interior and the insert (11), **characterized in that** the connection is a thermally unstable connection, which is released when a limit temperature is exceeded.

**2.** Coolable component according to Claim 1, **characterized in that** the thermally unstable connection is produced directly by the adhesion of the insert (11) in the first opening (10).

**3.** Coolable component according to Claim 1, **characterized in that** the thermally unstable connection is produced directly by means of a thermally unstable material, in particular an adhesive or a solder.

**4.** Coolable component according to Claim 3, **characterized in that** the thermally unstable material is arranged as a layer between the insert (11) and the component.

**5.** Coolable component according to one of the preceding Claims, **characterized in that** the size of the second opening cross section is designed to ensure a minimum mass flow of the cooling medium

through the second opening cross section.

**6.** Coolable component according to Claim 5, **characterized in that** the thermally unstable connection is selected such that the limit temperature occurs at a value which is not reached during maintenance of the minimum mass flow, and **in that**, if the mass flow is less than the minimum, the limit temperature is increased such that, when the mass flow is less than the minimum, the connection becomes unstable and the insert (11) is released from the aperture opening, thus opening up the first, larger opening cross section.

**7.** Coolable component according to one of the preceding Claims, **characterized in that** the insert (11) is composed of a Bondcoat material and/or a TBC material.

**8.** Coolable component according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the thermally unstable connection and/or the insert (11) are/is composed of a material which oxidizes in the cooling medium and whose oxides vaporize at the desired temperature.

**9.** Coolable component according to Claim 8, **characterized in that** the oxides which are formed are oxides from the chromium oxide, molybdenum oxide and tungsten oxide series.

**10.** Coolable component according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the thermally unstable connection is composed of a material which is above its melting point at the desired temperature.

**11.** Coolable component according to Claim 10, **characterized in that** the thermally unstable connection contains metals from the Ag, Cu, Au, Al, Zn, Cd, In, Tl, Ge, Sn, Pb, Sb and Bi series individually or in conjunction with one another.

**12.** Coolable component according to Claim 11, **characterized in that** the thermally unstable connection contains wood metal, soft solder, hard solder such as brass solder, nickel silver solder, silver solder, aluminium silver solder, B-Cu55ZnAg or nickel-based solder with silicon on its own and/or with boron.

**13.** Coolable component according to Claim 10, **characterized in that** the thermally unstable connection contains glass solder, in particular high-lead glass, composite solder with a codierite additive, or solder glass.

**14.** Coolable component according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the thermally unstable connection and/or the insert (11) are/is composed of a material which fails when its creep strength is exceeded.

**15.** Coolable component according to Claim 14, **characterized in that** the material is a silver copper tin solder or an austenitic steel.

**16.** Coolable component according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the thermally unstable connection and/or the insert (11) are/is composed of a material which fails when the softening temperature is exceeded.

**17.** Coolable component according to Claim 16, **characterized in that** the material is a self-flowing NiCrFeSiB corrosion protection layer.

**18.** Coolable component according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the thermally unstable connection and/or the insert (11) are/is composed of a material which has a low thermal coefficient of expansion and which fails as a result of stresses that occur and as a result of its brittleness when thermally overloaded.

**19.** Coolable component according to Claim 18, **characterized in that** the material is a ceramic, in particular $SiN_4$, unstabilized or partially stabilized $ZrO_2$, or a glass.

**20.** Method for production of an aperture opening for a cooling medium flow rate, which can be predetermined, in a component according to one of the preceding Claims, with a first opening (10) with a first opening cross section being introduced into the component (1),
**characterized by** the following steps:
introduction of the first opening, with a first opening cross section, which is larger than is required for the cooling medium flow which can be predetermined; introduction of an insert (11) into the first opening (10); production of the connection between the insert and the component.

**21.** Method according to Claim 20, **characterized in that**, in order to introduce the insert (11), the first opening (10) is completely closed, and **in that** an opening with the second opening cross section is then produced in the material which has been introduced for closure purposes.

**22.** Method according to one of Claims 20 or 21, **characterized by** the further method step
that, before the insert (11) is introduced, in thermally unstable material is applied to the outer surface of the insert and/or to the inner surface of the first opening.

**Revendications**

1. Composant à refroidir, en particulier pour une turbomachine, avec un orifice de passage pour un fluide de refroidissement, qui est formé par un premier orifice (10) ayant une première section transversale d'orifice dans le composant (1), premier orifice (10) dans lequel est disposé un insert (11) qui réduit la première section transversale d'orifice à une deuxième section transversale d'orifice, dans lequel une liaison est établie à l'interface entre l'intérieur de l'alésage et l'insert (11), **caractérisé en ce que** la liaison est une liaison thermiquement instable, qui se rompt lors du dépassement d'une température limite.

2. Composant à refroidir selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable est établie directement par l'adhérence de l'insert (11) dans le premier orifice (10).

3. Composant à refroidir selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable est établie directement par une matière thermiquement instable, en particulier une colle ou une brasure.

4. Composant à refroidir selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** la matière thermiquement instable est disposée sous la forme d'une couche entre l'insert (11) et le composant.

5. Composant à refroidir selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la deuxième section transversale d'orifice est dimensionnée de façon à garantir un débit massique minimum du fluide de refroidissement à travers la deuxième section transversale d'orifice.

6. Composant à refroidir selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable est choisie de telle façon que la température limite se situe à une valeur qui n'est pas atteinte lors du maintien du débit massique minimum et que, en cas de descente sous le débit massique minimum, la température limite soit accrue de telle façon que, lors de la descente sous le débit massique minimum, la liaison devienne thermiquement instable et que l'insert (11) se dégage hors de l'orifice de passage, et libère ainsi la première section transversale d'orifice plus grande.

7. Composant à refroidir selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'insert (11) se compose d'une matière Bondcoat et/ou TBC.

8. Composant à refroidir selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable et/ou l'insert (11) se composent d'une matière qui s'oxyde dans le fluide de refroidissement et dont les oxydes se vaporisent à la température désirée.

9. Composant à refroidir selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les oxydes formés sont des oxydes de la série oxyde de chrome, oxyde de molybdène et oxyde de tungstène.

10. Composant à refroidir selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable se compose d'une matière qui dépasse son point de fusion à la température désirée.

11. Composant à refroidir selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable contient des métaux de la série Ag, Cu, Au, Al, Zn, Cd, In, Tl, Ge, Sn, Pb, Sb, et Bi, individuellement ou en combinaison entre eux.

12. Composant à refroidir selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable contient de l'alliage de Wood, une brasure tendre, une brasure dure comme par exemple une brasure de laiton, une brasure de maillechort, une brasure d'argent, une brasure Al-Si, du B-Cu55ZnAg, ou une brasure à base de nickel avec du silicium seul et/ou avec du bore.

13. Composant à refroidir selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable contient une brasure de verre, en particulier un verre riche en plomb, une brasure composite avec ajout de cordiérite, ou du verre à braser.

14. Composant à refroidir selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable et/ou l'insert (11) se composent d'une matière qui cède en raison du dépassement de sa résistance au fluage.

15. Composant à refroidir selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** la matière est une brasure Ag-Cu-Zn ou un acier austénitique.

16. Composant à refroidir selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable et/ou l'insert (11) se composent d'une matière qui cède en raison du dépassement de sa température de ramollissement.

17. Composant à refroidir selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** la matière est une couche auto-fluante de protection contre la corrosion en NiCrFeSiB.

**18.** Composant à refroidir selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la liaison thermiquement instable et/ou l'insert (11) se composent d'une matière qui présente un faible coefficient de dilatation thermique et qui cède sous une surcharge thermique en raison des contraintes qui apparaissent et de sa fragilité.

**19.** Composant à refroidir selon la revendication 18, **caractérisé en ce que** la matière est une céramique, en particulier $SiN_4$, ou du $ZrO_2$ non stabilisé ou partiellement stabilisé, ou un verre.

**20.** Procédé de réalisation d'un orifice de passage pour un débit prévisible d'un fluide de refroidissement dans un composant selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on pratique un premier orifice (10) avec une première section transversale d'orifice dans le composant (1), **caractérisé par** les étapes consistant à pratiquer le premier orifice avec une première section transversale d'orifice, qui est plus grande que nécessaire pour le débit prévisible de fluide de refroidissement; introduire un insert (11) dans le premier orifice (10); réaliser la liaison entre l'insert et le composant.

**21.** Procédé selon la revendication 20, **caractérisé en ce que** pour introduire l'insert (11), on bouche complètement le premier orifice (10) et on pratique ensuite un orifice avec la deuxième section transversale d'orifice dans la matière introduite pour le bouchage.

**22.** Procédé selon l'une ou l'autre des revendications 20 ou 21, **caractérisé par** l'étape de procédé supplémentaire consistant, avant l'introduction de l'insert (11), à déposer une matière thermiquement instable sur la surface extérieure de l'insert et/ou sur la surface intérieure du premier orifice.

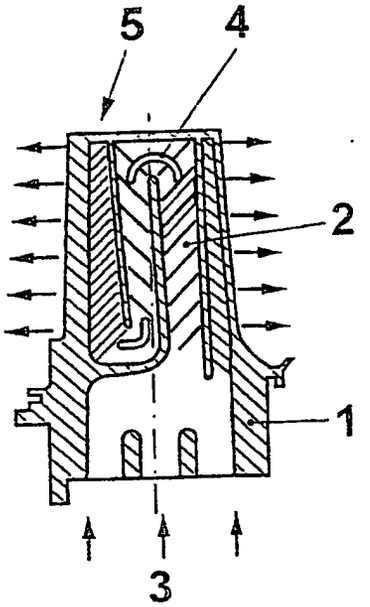


FIG. 1a

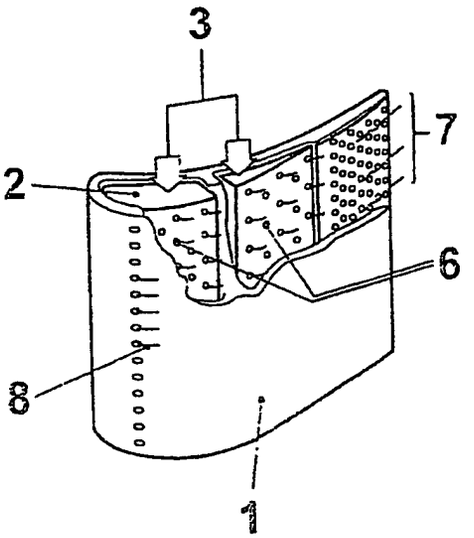


FIG. 1b

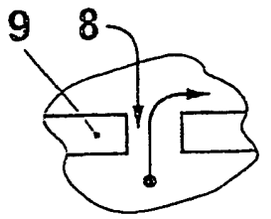


FIG. 2

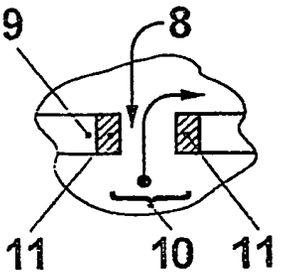


FIG. 3

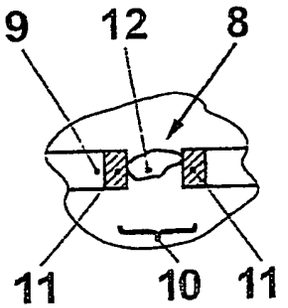


FIG. 4

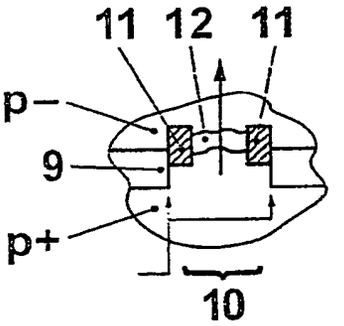


FIG. 5

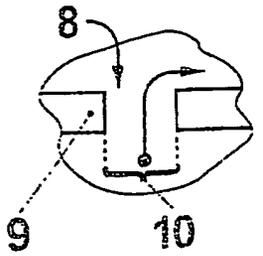


FIG. 6