



(11)

EP 1 247 602 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
20.02.2008 Patentblatt 2008/08

(51) Int Cl.:
B22C 21/14^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **01108480.3**

(22) Anmeldetag: **04.04.2001**

(54) **Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel**

Method for producing an airfoil

Procédé pour la fabrication d'une aube de turbine

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB IT

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.10.2002 Patentblatt 2002/41

(73) Patentinhaber: **SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **Esser, Winfried, Dr.
44805 Bochum (DE)**
• **Haendler, Michael
40699 Erkrath (DE)**
• **Tiemann, Peter
58452 Witten (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 027 943 WO-A-99/59748
DE-C- 4 434 139 US-A- 2 821 323

EP 1 247 602 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel in Hohlprofil.

[0002] Gasturbinen werden in vielen Bereichen zum Antrieb von Generatoren oder von Arbeitsmaschinen eingesetzt. Dabei wird der Energieinhalt eines Brennstoffs zur Erzeugung einer Rotationsbewegung einer Turbinenwelle benutzt. Der Brennstoff wird dazu in einer Brennkammer verbrannt, wobei von einem Luftverdichter verdichtete Luft zugeführt wird. Das in der Brennkammer durch die Verbrennung des Brennstoffs erzeugte, unter hohem Druck und unter hoher Temperatur stehende Arbeitsmedium wird dabei über eine der Brennkammern nachgeschaltete Turbineneinheit geführt, wo es sich arbeitsleistend entspannt. Der zur Erzeugung der Rotationsbewegung der Turbinenwelle erforderliche Impulsübertrag aus dem Arbeitsmedium wird dabei über Turbinenschaufeln erreicht. Dazu sind an der Turbinenwelle eine Anzahl von profilierten Laufschaufeln angeordnet, die zur Führung des Strömungsmediums in der Turbineneinheit durch mit dem Turbinengehäuse verbundene Leitschaufeln ergänzt sind. Für eine geeignete Führung des Strömungsmediums weisen die Turbinenschaufeln dabei üblicherweise ein profiliertes, entlang einer Schaufelachse erstrecktes Schaufelblatt auf.

[0003] Zur Erreichung eines besonders günstigen Wirkungsgrads sind derartige Gasturbinen aus thermodynamischen Gründen üblicherweise für besonders hohe Austrittstemperaturen des aus der Brennkammer ab- und die in die in die Turbineneinheit einströmenden Arbeitsmediums von etwa 1200 °C bis etwa 1300 °C ausgelegt. Bei derartig hohen Temperaturen sind die Komponenten der Gasturbine, insbesondere die Turbinenschaufeln, vergleichsweise hohen thermischen Belastungen ausgesetzt. Um auch bei derartigen Betriebsbedingungen eine hohe Zuverlässigkeit und eine lange Lebensdauer der jeweiligen Komponenten zu gewährleisten, sind die betroffenen Bauteile üblicherweise kühlbar ausgebildet.

[0004] Daher sind in modernen Gasturbinen die Turbinenschaufeln üblicherweise als sogenanntes Hohlprofil ausgebildet. Das profilierte Schaufelblatt weist dazu in seinem Innenbereich auch als Schaufelkern bezeichnete Hohlräume auf, in denen ein Kühlmedium geführt werden kann. Durch die solchermaßen gebildeten Kühlmittelkanäle ist somit eine Beaufschlagung der thermisch besonders beanspruchten Bereiche des jeweiligen Schaufelblatts mit Kühlmittel ermöglicht. Eine besonders günstige Kühlwirkung und somit eine besonders hohe Betriebssicherheit ist dabei erreichbar, indem die Kühlmittelkanäle einen vergleichsweise großen Raumbereich im Inneren des jeweiligen Schaufelblatts einnehmen, und indem das Kühlmittel möglichst nah an der jeweiligen, dem Heißgas ausgesetzten Oberfläche geführt ist. Um bei einer derartigen Auslegung andererseits eine ausreichende mechanische Stabilität und Belastbarkeit sicherzustellen, kann die jeweilige Turbinenschaufel mehrkanalig durch-

strömt sein, wobei im Inneren des Schaufelprofils eine Mehrzahl von mit Kühlmittel beaufschlagbaren, jeweils voneinander durch vergleichsweise dünne Trennwände getrennte Kühlmittelkanäle vorgesehen sind.

[0005] Derartige Turbinenschaufeln werden üblicherweise durch Gießen hergestellt. Dazu wird eine in ihrer Kontur an das gewünschte Schaufelprofil angepaßte Gießform mit Schaufelmaterial ausgegossen. Zur Herstellung der genannten Schaufelkerne oder Strömungskanäle für das Kühlmittel werden beim Gießen in der Gießform sogenannte Kernelemente angeordnet, die nach erfolgtem Gießvorgang aus dem Schaufelkörper entfernt werden, so daß die für die Kühlmittelkanäle gewünschten Hohlräume entstehen. Bei der Herstellung einer Turbinenschaufel mit mehreren, durch Trennwände voneinander getrennten Kühlmittelkanälen wird dabei eine Mehrzahl jeweils formspezifisch angepaßter Kernelemente in der Gießform angeordnet.

[0006] Die Positionierung der Kernelemente in der Gießform erfolgt über damit verbundene Kernstützen, welche zumeist kopf- und fußseitig die Turbinenschaufel durchdringen. Nach dem Gießen der Turbinenschaufel und dem Entfernen der Kernelemente und Kernstützen verbleiben Kernöffnungen im Kopf- und Fußbereich der Turbinenschaufel, welche durch geeignete Maßnahmen verschlossen werden können. Hierzu ist beispielsweise aus der EP 1 027 943 A1 bekannt, eine weitere Aussparung in der Turbinenschaufel vorzusehen, welche die von der Kernstütze herrührende Kernöffnung vollständig kreuzt. Durch das Einsetzen eines Verschlussstückes in die Aussparung kann dann die innen liegende Öffnung der Kernöffnung vollständig abgedeckt und somit verschlossen werden. Die Kernöffnung selber bleibt frei.

[0007] Neben der Verwendung von Kernstützen können zur Positionierung der Kernelemente zusätzlich noch Abstandhalter diese mit der Gießform verbinden, um definierte Abstände zwischen Kernelementen und Gießformen für definierte Wandstärken der Turbinenschaufel zu erreichen. Diese Abstandhalter hinterlassen beim Entfernen der Kernelemente unerwünschte zusätzliche Hohlräume, die die eigentlich vorgesehene strömungstechnische Entkopplung der jeweiligen Kernbereiche voneinander und insbesondere vom Außenbereich der Turbinenschaufel behindern. Daher sind die Abstandhalter üblicherweise spitz zulaufend ausgestaltet, um somit die Bildung von inakzeptabel großen Öffnungen sicher auszuschließen. Die Abstandhalter sind dabei derart ausgelegt, daß sich beim Gießen der Turbinenschaufel möglichst eine durchgehende, nicht vom jeweiligen Abstandhalter vollständig durchdrungene Oberfläche oder Trennwand an der jeweiligen Stelle ergibt. Dennoch weist die gegossene Turbinenschaufel an den Stellen der Abstandhalter üblicherweise Schwachstellen auf, die zumindest eine lokale Rißbildung im fraglichen Bereich fördern. Die Fehler- oder Ausschussquote bei der Herstellung der Turbinenschaufeln ist somit vergleichsweise hoch.

[0008] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrun-

de, ein Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel in Hohlprofil anzugeben, mit dem eine besonders geringe Fehler- oder Ausschußquote erreichbar ist.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst, indem ein erstes Kernelement über eine Anzahl annähernd zylindrischer Abstandhalter mit einem weiteren Kernelement und/oder mit einer Gießform verbunden wird, wobei die durch die Kernelemente in der Gießform gelassenen Hohlräume durch Schaufelmaterial ausgegossen werden, und wobei die nach der Entfernung der Kernelemente und der Abstandhalter in der Turbinenschaufel verbleibenden, durch die Abstandhalter erzeugten Öffnungen durch Stopfenelemente verschlossen werden.

[0010] Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, daß eine mögliche Fehlerursache bei der Herstellung der Turbinenschaufeln gerade in denjenigen Schwachstellen zu sehen ist, die sich infolge der Verwendung von spitz zulaufenden Abstandhaltern bei der Verbindung der Kernelemente einstellen. Diese Schwachstellen beeinträchtigen einerseits die Stabilität des Schaufelmaterials an der fraglichen Stelle, sind aber andererseits bei einer Materialprüfung nur schwer oder überhaupt nicht identifizierbar. Somit können unentdeckte Schwachstellen im Material verbleiben, die später durch Rißbildung an der fraglichen Stelle zu einem Ausfall der Turbinenschaufel insgesamt führen können.

[0011] Um dem wirksam zu begegnen, werden statt konischer oder spitz zulaufender Abstandhalter nunmehr zylindrische Abstandhalter verwendet. Diese hinterlassen zwar auch Schwachstellen im Material der gegossenen Turbinenschaufel, die aber ohne weiteres auffindbar sind. Unter Abkehr vom Grundsatz, die Schwachstellen bei der Herstellung der Turbinenschaufeln besonders klein zu halten, ist somit vorgesehen, unter Inkaufnahme vergleichsweise größerer Schwachstellen diese besonders einfach auffindbar zu machen. Die somit zuverlässig auffindbaren Schwachstellen können anschließend durch Anbringen eines Verschlusselements wirksam und in einer den späteren Betrieb der Turbinenschaufel nicht beeinträchtigenden Weise verschlossen werden.

[0012] Die Abstandhalter sind dabei vorzugsweise in ihrer Längsausdehnung derart bemessen, daß ihre Enden über das entstehende Schaufelprofil hinausstehen, so daß beim Gießen der Turbinenschaufel in jedem Fall durch die jeweilige Struktur vollständig durchgehende Löcher entstehen.

[0013] Um die Dichtigkeit der durch die Abstandhalter gelassenen Öffnungen auch bei einem Betrieb der Turbinenschaufel unter vergleichsweise widrigen Betriebsbedingungen sicherzustellen, werden die Stopfenelemente in vorteilhafter Weiterbildung nach ihrem Einbringen in die jeweilige Öffnung gestaucht. Durch eine derartige Stauchung ist gewährleistet, daß das jeweilige Stopfenelement sich in seiner Breite derart ausdehnt, daß es eine besonders innige formschlüssige und kraftschlüssige Verbindung mit dem Rand der jeweiligen Öffnung eingeht. Die Öffnung ist somit besonders wirkungs-

voll verschlossen.

[0014] Zum weiteren Absichern des Stopfenelements in seiner jeweiligen Öffnung wird dieses vorteilhafterweise nach seinem Einbringen in die jeweilige Öffnung verlötet.

[0015] Als Stopfenelement kann jeweils ein geeignetes stiftförmiges Element verwendet werden. Vorteilhafterweise werden als Stopfenelemente jedoch Blindnieten oder Einschlagpins verwendet.

[0016] Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß durch die bewußte Inkaufnahme vergleichsweise großer Öffnungen im zunächst gegossenen Schaufelkörper jede durch die Abstandhalter hervorgerufene Schwachstelle im Schaufelkörper eindeutig identifizierbar ist. Verborgene Schwachstellen sind somit sicher vermieden. Durch das anschließende Einbringen der Stopfenelemente ist zudem ein besonders wirksames Verschließen der jeweiligen Öffnungen gewährleistet, so daß die Turbinenschaufel auch unter vergleichsweise widrigen Betriebsbedingungen besonders belastbar ist. Die Abstandhalter können zudem vergleichsweise groß dimensioniert sein, so daß für eine zuverlässige Positionierung der Kernelemente während des Gießvorgangs nur eine vergleichsweise geringe Anzahl von Abstandhaltern erforderlich ist. Damit reduziert sich auch die Anzahl der insgesamt entstehenden Öffnungen oder Schwachstellen, so daß der Aufwand beim Wiederverschließen dieser Schwachstellen besonders gering gehalten ist.

[0017] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen:

Figur 1 eine profilierte Turbinenschaufel im Querschnitt,

Figur 2 ein Kernelement, und

Figur 3 eine Anzahl von Stopfenelementen in jeweils verschiedenartiger Ausführungsform.

[0018] Gleiche Teile sind in beiden Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0019] Die Turbinenschaufel 1, die in Figur 1 im Querschnitt gezeigt ist, ist zum Einsatz in einer nicht näher dargestellten Gasturbine vorgesehen. Die Turbinenschaufel 1 umfaßt ein entlang einer Schaufelachse erstrecktes, auch als Schaufelprofil bezeichnetes Schaufelblatt 2. Das Schaufelblatt 2 ist, wie in Figur 1 erkennbar ist, profiliert oder an seiner Oberfläche gekrümmt, so daß eine besonders günstige Führung des die Gasturbine durchströmenden Arbeitsmediums gewährleistet ist.

[0020] Die Gasturbine ist aus thermodynamischen Gründen für eine Austrittstemperatur ihres Arbeitsmediums aus der Brennkammer von vergleichsweise hohen Temperaturen von beispielsweise 1200 °C bis 1300 °C ausgelegt. Um auch bei diesen Betriebsbedingungen eine hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer der jeweiligen Komponenten zu gewährleisten, ist neben an-

deren Komponenten auch die Turbinenschaufel 1 kühlbar ausgebildet. Dazu umfaßt das Schaufelblatt 2 eine Anzahl von integrierten Hohlräumen 4, 6, die jeweils als Strömungskanal für ein Kühlmittel dienen. Die Hohlräume 4 weisen dabei einen vergleichsweise großen Querschnitt auf und dienen als Hauptströmungsweg für das Kühlmittel. Gerade bei im Querschnitt vergleichsweise groß gehaltenen Strömungskanälen für das Kühlmittel ist jedoch zur mechanischen Stabilisierung eine vergleichsweise große Wandstärke der verbleibenden Strukturteile der Turbinenschaufel 1 erforderlich. Andererseits besteht das Bestreben, den Strömungsweg des Kühlmittels möglichst nah an der heißgasbeaufschlagten Oberseite der Turbinenschaufel 1 zu halten. Um dies auch bei hoher mechanischer Stabilität der Turbinenschaufel 1 zu gewährleisten, sind zusätzlich zu den den Hauptströmungsweg für das Kühlmittel bildenden ersten Hohlräumen 4 zweite Hohlräume 6 vorgesehen, die vergleichsweise dicht unter der Oberfläche der Turbinenfläche 1 verlaufen. Diese zweiten Hohlräume 6 bilden Nebenkanäle für das Kühlmittel und kommunizieren einlaß- und auslaßseitig mit den ersten Hohlräumen 4.

[0021] Bei der Herstellung der Turbinenschaufel 1 wird eine Gießform verwendet, die einen an die gewünschte Außenkontur der Turbinenschaufel 1 angepaßten Hohlraum aufweist. Zur Herstellung der Hohlräume 4, 6 werden in dieser Gießform in ihrer Außenkontur an die gewünschten Hohlräume 4 bzw. 6 angepaßte sogenannte Kernelemente positioniert. Anschließend wird die Gießform mit Schaufelmaterial ausgegossen, wobei durch die Kernelemente die vorgesehenen Hohlräume 4 bzw. 6 von Schaufelmaterial freigehalten werden. Nach dem Erstarren des Schaufelmaterials werden die Kernelemente wieder entfernt, so daß die gewünschten Hohlräume 4 bzw. 6 in der gegossenen Turbinenschaufel 1 verbleiben.

[0022] Ein für die Herstellung eines der zweiten Hohlräume 6 vorgesehenes Kernelement 10 ist in Figur 2 gezeigt. Das Kernelement 10 umfaßt eine Grundplatte 12, die in ihrer Form an die für den jeweiligen Hohlraum 6 gewünschte Kontur angepaßt ist. Zur räumlichen Positionierung und Fixierung des Kernelements 10 während des Gießvorgangs sind an der Grundplatte 12 zudem eine Anzahl von Abstandhaltern 14 angeordnet.

[0023] Jeder Abstandhalter 14 ist dabei im wesentlichen zylindrisch ausgestaltet und in seiner Länge derart ausgebildet, daß er das in seinem Raumbereich vorgesehene Schaufelprofil vollständig durchdringt. Im Ausführungsbeispiel sind die Abstandhalter 14 somit in ihrer Länge derart ausgebildet, daß diese die Dicke der den jeweiligen Hohlraum 6 umgebenden Materialwände übersteigt. Mit ihren freien Enden sind die Abstandhalter 14 dabei jeweils in der Gießform oder in einem benachbarten Kernelement verankert, so daß sich eine auch während des Gießvorgangs im wesentlichen stabile Struktur ergibt.

[0024] Nach dem Gießvorgang und dem Erstarren des Schaufelmaterials weist der so gegossene Schaufelkörper

per an denjenigen Stellen, an denen sich die Abstandhalter 14 befanden, durchgehende Öffnungen auf. Diese sind somit leicht erkennbar und können somit einer weiteren Behandlung unterzogen werden. Die nach der Entfernung der Kernelemente und der Abstandhalter in der Turbinenschaufel 1 verbleibenden, durch die Abstandhalter 14 erzeugten Öffnungen werden dabei durch geeignete Stopfelemente verschlossen, wie dies für einige verschiedene Typen von Stopfelementen in Figur 3 gezeigt ist.

[0025] Figur 3 zeigt in der Art mehrerer alternativer Ausführungsbeispiele eine Anzahl verschiedenartiger Stopfelemente, mit denen die durch die Abstandhalter 14 gelassenen Öffnungen verschlossen sein können. Dabei kann als Stopfelement für die jeweilige Öffnung ein Einschlagpin 20 vorgesehen sein, der in seinem Mittenbereich in der Art eines Widerhakens ein konisch ausgebildetes Formstück 22 umfaßt. Alternativ kann ein einseitig gestauchter Einschlagpin 24 vorgesehen sein, der sich besonders für den Fall eignet, daß die zu verschließende Öffnung einseitig noch den eigentlichen Öffnungskanal begrenzende Überstände 26 aufweist. Falls eine vollständig durchgehende Öffnung vorliegt, kann jedoch auch ein durchgehender Stift 28 vorgesehen sein, der nach seinem Eindringen in die jeweilige Öffnung beidseitig gestaucht wurde. Gerade durch die Stauchung tritt hierbei infolge der sich einstellenden Verdickung im Mittenbereich des Stifts 28 eine besonders gute Dichtwirkung ein.

[0026] Alternativ kann auch ein in einer durchgehenden Öffnung eingesetzter Stift 30 zum Einsatz kommen, wobei die jeweilige Öffnung in ihren Endbereichen Abschrägungen aufweist. Bei einer Stauchung des Stifts 30 wird dieser in seinen Endbereichen verformt, wobei sich sein Stiftmaterial in die entsprechenden Abschrägungen der jeweiligen Öffnungen einfügt. Weiterhin ist auch die Verwendung eines Stifts 32 möglich, der in seinem Endbereich durch Anbringen einer Lötkepp 34 und anschließendes Verlöten dicht abgeschlossen ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel (1) in Hohlprofil, bei dem ein erstes Kernelement (10) über eine Anzahl annähernd zylindrischer Abstandhalter (14) mit einem weiteren Kernelement und/oder mit einer Gießform verbunden wird, wobei die durch die Kernelemente (10) in der Gießform gelassenen Hohlräume (4, 6) durch Schaufelmaterial ausgegossen werden, und bei dem die nach der Entfernung der Kernelemente (10) und der Abstandhalter (14) in der Turbinenschaufel (1) verbleibenden, durch die Abstandhalter (14) erzeugten Öffnungen durch Stopfelemente verschlossen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Stopfelemente nach ihrem Einbringen in die jeweilige Öff-

nung gestaucht werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Stopfelemente nach ihrem Einbringen in die jeweilige Öffnung verlötet werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem als Stopfelemente Blindnieten verwendet werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem als Stopfelemente Einschlagpins (24) verwendet werden.

Claims

1. Method of producing a turbine blade (1) in hollow section, in which a first core element (10) is connected via a number of approximately cylindrical spacers (14) to a further core element and/or to a casting mold, the cavities (4, 6) left in the casting mold by the core elements (10) being filled by blade material, and in which the openings remaining in the turbine blade (1) after the removal of the core elements (10) and the spacers (14) and produced by the spacers (14) are closed by stopper elements. 20
2. Method according to Claim 1, in which the stopper elements are upset after they have been inserted into the respective opening. 30
3. Method according to Claim 1 or 2, in which the stopper elements are brazed after they have been inserted into the respective opening. 35
4. Method according to one of Claims 1 to 3, in which the stopper elements used are blind rivets.
5. Method according to one of Claims 1 to 3, in which the stopper elements used are drive-in pins (24). 40

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une aube (1) de turbine en profil creux, dans lequel on assemble un premier élément (10) de noyau par un certain nombre d'entretoises (14) à peu près cylindriques à un autre élément de noyau et/ou à une lingotière de coulée, les cavités (4, 6) laissées par les éléments (10) de noyau dans la lingotière de coulée étant remplies par coulée de matériau d'aube et dans lequel on ferme par des éléments de bouchage les ouvertures restant dans l'aube (1) de turbine, après l'enlèvement des éléments (10) de noyau et des entretoises (14), et produites par les entretoises (14). 45
2. Procédé suivant la revendication 1, dans lequel on refoile les éléments de bouchage après leur introduction dans l'ouverture respective. 50
3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2, dans lequel on brase les éléments de bouchage après leur introduction dans l'ouverture respective. 55
4. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 3, dans lequel on utilise comme élément de bouchage des rivets aveugles.
5. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 3, dans lequel on utilise comme élément de bouchage des chevilles (24) à enfoncer.

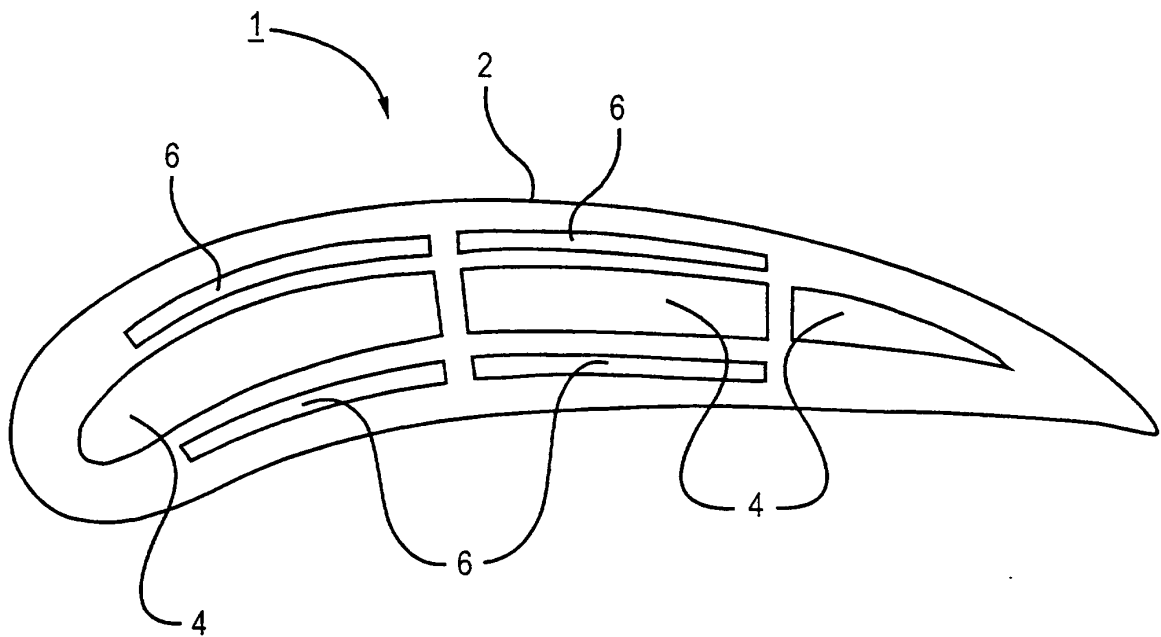


Fig. 1

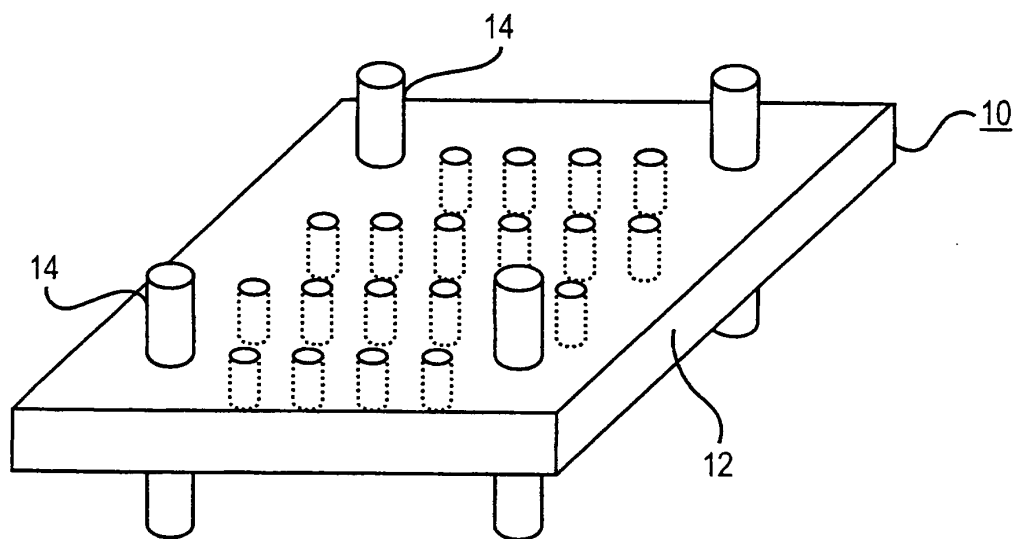


Fig. 2

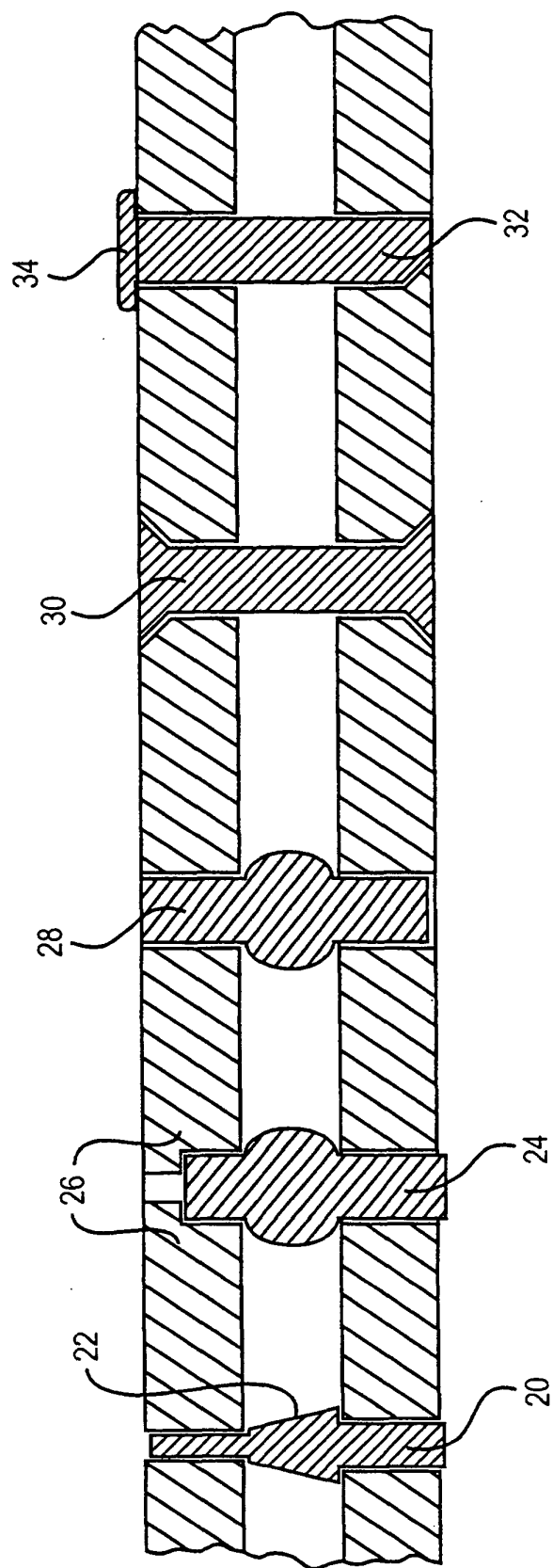


Fig. 3

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 1027943 A1 [0006]