



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

51 Int. Cl. 3: F 01 D

5/30

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



12 PATENTSCHRIFT A5

11

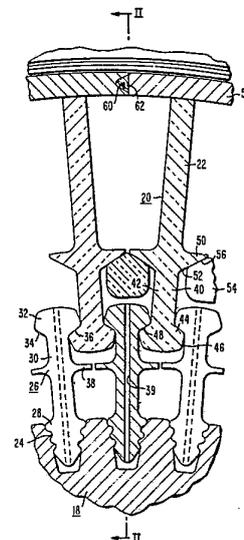
618 498

<p>21 Gesuchsnummer: 5567/77</p> <p>22 Anmeldungsdatum: 04.05.1977</p> <p>30 Priorität(en): 17.05.1976 US 686860</p> <p>24 Patent erteilt: 31.07.1980</p> <p>45 Patentschrift veröffentlicht: 31.07.1980</p>	<p>73 Inhaber: Westinghouse Electric Corporation, Pittsburgh/PA (US)</p> <p>72 Erfinder: William F. Stahl, Media/PA (US)</p> <p>74 Vertreter: A. Braun, Basel</p>
--	---

54 **Gasturbinenläufer mit keramischen Schaufeln.**

57 Der Läufer weist eine Reihe von Läuferscheiben (18) auf, die mit axial verlaufenden Nuten (24) versehen sind. In den Nuten (24) sind Halteelemente (26) aus einer hochtemperaturbeständigen Metallegierung verankert. In die Einschnitte (34) zwischen benachbarten Halteelementen (26) ragen die Schaufelfüsse (40) keramischer Läuferschaufeln (20).

Der auf diese Weise ausgebildete Gasturbinenläufer gestattet das Arbeiten mit extrem heissen Verbrennungsgasen und er lässt sich ohne nennenswerte Verwendung von teuren, hochtemperaturfesten Legierungen herstellen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Gasturbinenläufer mit einer Anzahl von aus Ferrometall bestehenden Läufer­scheiben, die jeweils eine Vielzahl von axialen Haltenuten aufweisen und eine Vielzahl von keramischen Schaufeln tragen, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaufeln (20) über eine Vielzahl von radial verlaufenden Halteelementen (26) mittelbar an den Läufer­scheiben (18) gehalten sind, dass die Halteelemente (26) aus einer hochtemperaturbeständigen Metallegierung bestehen sowie zu den axialen Haltenuten (24) komplementär ausgebildete und in diese eingesetzte Fusssteile (28) und an ihren radial ausserliegenden Enden (32) Aufnahmeöffnungen (46) bildende Einschnitte (34) aufweisen, und dass die Schaufeln (20) zu den Aufnahmeöffnungen komplementäre und in diese eingesetzte Schaufelfüsse (40) besitzen.

2. Gasturbinenläufer nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaufeln (20) jeder Läufer­scheibe (18) zusammen einen im wesentlichen kontinuierlichen Fussbandring bildende Fussplatten (50) aufweisen, und dass die einander zugewandten Fussplatten je zweier benachbarter Schaufeln (20) einer Läufer­scheibe jeweils einen radial innerhalb derselben gelegenen axialen Hohlraum begrenzen, in welchem ein Dichtungskeil (54) angeordnet ist, wobei dieser so ausgebildet ist, dass er unter der Einwirkung der Fliehkraft einen möglicherweise zwischen den betreffenden, einander zugewandten Fussplatten bestehenden Spalt strömungsmitteldicht überbrückt und niederfrequente Schaufelschwingungen dämpft.

3. Gasturbinenläufer nach Patentanspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Dichtungskeile (54) aus keramischem Material bestehen.

4. Gasturbinenläufer nach einem der Patentansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Halteelemente (26) radiale Kanäle (39) aufweisen, durch welche zu den Läufer­scheiben (18) hingeführtes Kühlmittel von den Fusssteilen (28) der Halteelemente (26) zu den Schaufelfüssen (40) strömt, um diese Teile zu kühlen.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Gasturbinenläufer nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Dabei handelt es sich insbesondere um einen Gasturbinenläufer, bei welchem für eine hohe Turbineneinlasstemperatur geeignete keramische Schaufeln an Läufer­scheiben aus einer Ferrolegierung für niedrigere Temperaturen angeordnet sind.

Es ist allgemein bekannt, dass der Wirkungsgrad von Gasturbinen­triebwerken durch Erhöhung der Einlasstemperatur des Treibmittels vergrössert werden kann. Bekanntermassen müssen jedoch die Temperaturen der Turbinenteile innerhalb eines Bereiches gehalten werden, in welchem die Turbinenteile weder ihre Festigkeit verlieren, noch durch die korrosive Natur des Treibmittels zu leicht angegriffen werden.

Hochdichte, warm gepresste Siliziumnitride, Siliziumkarbide und andere keramische Werkstoffe besitzen die Fähigkeit, verhältnismässig hohen Temperaturen ohne Festigkeitsverlust und ohne Zerstörung durch Korrosion standzuhalten. Da diese Werkstoffe jedoch ziemlich spröde und bei Einwirkung von Zugspannungen zerbrechlich (und deshalb gegen Spannungskonzentrationen durch Kerben empfindlich) sind, konnten sie für grossen Fliehkräften und Biegebeanspruchungen ausgesetzte Laufschaufeln grosser Gasturbinen­triebwerke nicht sehr erfolgreich Anwendung finden.

Deshalb muss in den meisten Fällen die Turbineneinlasstemperatur auf den durch hochtemperaturfeste Superlegierungen, die ihre Festigkeit bis zu Temperaturen von etwa 870° C

bis 930° C behalten, vorgegebenen Temperaturbereich begrenzt werden, während es bei keramischen Schaufeln möglich wäre, die Einlasstemperatur auf einen Bereich von 1260° Celsius bis 1370° C und dadurch den Turbinenwirkungsgrad beträchtlich zu erhöhen.

Da ausserdem hochtemperaturbeständige Metallegierungen ziemlich teuer sind, ist es allgemein üblich, derartige Metallegierungen nur für die Schaufeln selbst zu verwenden und den Läufer und die einstückigen Läufer­scheiben aus weniger teuren Ferrolegierungen oder für niedrigere Temperaturen geeigneten Metallegierungen herzustellen und die Läufer­scheiben auf eine Temperatur von 320° C bis 430° C zu kühlen, um sie in einem im Hinblick auf den Werkstoff zulässigen Temperaturbereich zu halten.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen Gasturbinenläufer nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs so auszubilden, dass ohne übermässig umfangreichen Einsatz teurer hochtemperaturbeständiger Legierungen extrem hohe Schaufeltemperaturen zugelassen werden können.

Diese Aufgabe wird gemäss der Erfindung durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebene Gasturbinenläuferkonstruktion gelöst.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind zwischen den Schaufelblättern und diese mit den Schaufelfüssen verbindenden Halsteilen zueinander hin gewölbte Fussplatten vorgesehen und in einem jeweils radial innerhalb zweier benachbarter Fussplatten gebildeten Hohlraum ist ein ebenfalls aus keramischem Werkstoff bestehender, durch die Fliehkraft nach aussen gedrängter Dichtungskeil angeordnet, der an den zusammen eine komplementäre Keilform aufweisenden, radial inneren Flächen der Schaufelfüsse anliegt, so dass er bei einer Drehung des Gasturbinenläufers abdichtend in einen möglicherweise zwischen den benachbarten Fussplatten entstehenden Spalt hineingedrängt wird und ausserdem niederfrequente Schaufelschwingungen dämpft.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachstehend mit Bezug auf die anliegenden Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigt:

Fig. 1 einen Ausschnitt eines achsenkrechten Querschnitts durch eine Gasturbinenstufe, und

Fig. 2 einen Schnitt längs der Linie II—II in Fig. 1.

Die Fig. 1 und 2 zeigen einen Ausschnitt eines Gasturbinen­triebwerks 10, bei welchem ein Treibgaskanal durch eine äussere Kanalwand 12, die an einem nicht gezeigten Gehäuse befestigt ist, und eine über Leitschaufeln 16 an der äusseren Kanalwand 12 gehaltene innere Kanalwand 14 begrenzt ist. Eine Läufer­scheibe 18, die einstückig mit einem nicht gezeigten, sich axial erstreckenden Läufer ausgebildet ist, befindet sich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Leitschaufel­kränzen und trägt Laufschaufeln 20, deren Schaufelblätter 22 sich innerhalb des Treibgaskanals befinden.

Die Halterung der keramischen Laufschaufeln an der Läufer­scheibe 18 ist am besten aus Fig. 1 ersichtlich, gemäss welcher die Läufer­scheibe 18 an ihrem Umfang eine Vielzahl von axialen, mehrfach gezahnten Haltenuten 24 aufweist, wie sie üblicherweise zur Halterung von Schaufelfüssen in einer Läufer­scheibe Anwendung finden. Ausserdem bestehen der Läufer und die damit einstückige Läufer­scheibe ebenfalls in üblicher Weise aus verhältnismässig billigem Ferrometall oder niedrig legiertem Metall.

Die Schaufeln 20 sind jedoch nicht direkt in die Läufer­scheibe 18 eingesetzt, sondern mittelbar über eine Vielzahl von Halteelementen 26 daran gehalten, die mit zu den gezahnten Haltenuten 24 komplementär ausgebildeten und in die Haltenuten eingesetzten Fusssteilen 28 versehen sind. Diese

Halteelemente 26 bestehen aus einer hochtemperaturbeständigen Metallegierung der allgemein als Werkstoff für Laufschaufeln verwendeten Art und besitzen jeweils einen vom Fussteil 28 radial nach aussen ragenden Schaftteil 30, der am radial äusseren Ende in einem verdickten Kopf 32 endigt, wodurch schräg radial/tangential verlaufende Schultern 34 gebildet sind. Zwischen den Schaftteilen 30 jeweils zweier benachbarter Halteelemente 26 ist deshalb eine hinterschnittene Öffnung 36 gebildet. Im mittleren Bereich des Schaftteils 30 jedes Halteelements 26 befinden sich beiderseits absteigende plattenartige Vorsprünge 38, die jeweils neben einem entsprechenden Vorsprung eines benachbarten Halteelements endigen, so dass die Öffnung 36 von der Läuferscheibe 18 im wesentlichen isoliert ist. Ausserdem ist erkennbar, dass jedes Halteelement 26 von seinem Fussteil 28 bis zu seinem Kopf 32 von einem radialen Kanal 39 durchzogen ist.

Die jeweils einstückig ausgebildeten Laufschaufeln 20 bestehen aus einem hochdichten keramischen Werkstoff, wie beispielsweise Siliziumnitrid oder Siliziumkarbid, und gliedern sich jeweils in ein im Treibgaskanal befindliches Schaufelblatt 22 und einen Schaufelfuss 40. Der Schaufelfuss 40 gliedert sich seinerseits in einen radial verlaufenden Halsteil 42 und einen an dessen radial innerem Ende durch eine beiderseitige Verdickung gebildeten Fussteil 46, der zusammen mit dem Halsteil ein zur Öffnung 36 komplementäres Gebilde 44 darstellt und zu den Schultern 34 komplementär geneigte Schultern 48 aufweist, so dass eine ausreichend grosse Anlagefläche hergestellt ist, die in der Lage ist, die durch den Schaufelumlauf erzeugte Fliehkraft und die vom Treibmittel herrührenden Biegekräfte so zu verteilen, dass die entstehenden Spannungen innerhalb der bei dem spröden keramischen Werkstoff zulässigen Grenzen liegen. Mit der dargestellten Form des Schaufelfusses werden im Gegensatz zu der herkömmlichen, mehrfache Zacken aufweisenden Schaufelfusskonstruktion, wie sie beispielsweise bei der Verbindung der Halteelemente 26 mit der Läuferscheibe 18 Anwendung findet, Kerben vermieden, die zu Spannungskonzentrationen führen. Ausserdem ermöglichen die konischen Schultern 34 und 48 zwischen den Halteelementen 26 und den Schaufelfüssen 40 ungehinderte radiale Wärmedehnungen und vermeiden dadurch wärmedehnungsbedingte Spannungsprobleme.

Zwischen dem Schaufelblatt 22 und dem Schaufelfuss 40 ist eine bogenförmig verlaufende Fussplatte 50 gebildet, wobei die zueinander hinragenden Fussplatten benachbarter Schaufeln zusammen einen radial innerhalb derselben gebildeten Hohlraum begrenzen. Die radial inneren Fussplattenoberflächen 52 sind schwach radial/tangential geneigt und in dem genannten Hohlraum ist ein keramischer, der Fliehkraft ausgesetzter Dichtungskeil 54 angeordnet, dessen zu den Fussplattenunterflächen komplementär ausgebildete Flächen 56 an den Fussplattenunterflächen anliegen, so dass er unter der Wirkung der Fliehkraft durch Keilwirkung den genannten Hohlraum flüssigkeitsdicht verschliesst. Durch die Zusammenwirkung aller Dichtungskeile 54 des Laufschaufelkranzes werden ausserdem die Schaufeln gegen niederfrequente Schaufelschwingungen stabilisiert, die sonst zum Bruch der spröden Keramikschaufler führen könnten.

Die Schaufeln 20 endigen aussen in bogenförmig verlaufenden Deckbandsegmenten 58, welche den Treibgaskanal auf den Bereich der Schaufelblätter 22 zwischen sich und den Fussplatten 50 begrenzen. In einer der beiden aneinanderstossenden Stirnflächen der Deckbandsegmente benachbarter Schaufeln ist ein konischer Einschnitt 60 gebildet, in welchem ein keramischer Fliehkraftkeil 62 angeordnet ist, der unter Fliehkrafteinwirkung die Stossfuge zwischen den beiden benachbarten Deckbandsegmenten 58 flüssigkeitsdicht ver-

schliesst und damit das Austreten von Treibmittel verhindert; die gesamte Anordnung der Keile 62 trägt ebenfalls zur Unterdrückung von Schaufelschwingungen bei.

Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass die Schaufelfüsse und die Halteelemente durch Stirnplatten 64 und 66 axial abgeschlossen sind, wobei die stromaufwärtige Stirnplatte in eine Ringnut 68 eingesetzt ist und von einer Strömungsteilerwand 70 gehalten wird, welche das die Läuferscheibe kühlende Kühlmittel zu den Fussteilen 28 der Halteelemente 26 leitet. Die stromabwärtige Stirnplatte 66 weist eine radial aussenliegende Öffnung 72 auf, durch welche das Kühlmittel aus dem Hohlraum zwischen jeweils benachbarten Halteelementen ausströmen kann, und ist axial und radial jeweils in Nuten 74 gehalten, in welche entsprechend komplementäre Vorsprünge 76 dieser Stirnplatte hineinragen. Da die radial äusseren Ränder der Stirnplatten nahe dem das heisse Treibmittel führenden Treibgaskanal gelegen sind, können die Stirnplatten ebenfalls aus keramischem Werkstoff hergestellt sein. Wegen der begrenzten, auf die Stirnplatten wirksamen Kräfte reichen die durch die Nuten und Vorsprünge gebildeten Haltemittel jedoch aus, diese Kräfte so zu verteilen, dass die entsprechend der mechanischen Festigkeit des keramischen Materials zulässige Spannung nicht überschritten wird.

Zwischen der radial äusseren Fläche des umlaufenden Deckbandes und dem Gehäuse sind ausserdem Dichtungselemente 78 und 80 angeordnet, die eine Treibgasleckströmung zwischen dem Deckband und dem Gehäuse verhindern. Zur Kühlung der Dichtflächen des Deckbands und der Dichtungselemente wird unter hohem Druck stehendes Kühlmittel zwischen die beiden Dichtungselemente eingeleitet. Das Kühlmittel strömt deshalb axial stromaufwärts und stromabwärts durch die gebildeten Dichtungen hindurch, wodurch auch deren Dichtwirkung verbessert wird. Die Kühlluft hält die Dichtungselemente 78 und 80 dabei trotz ihrer Nachbarschaft zu den verhältnismässig heissen Keramikschaufler ausreichend kühl.

Die Schaufelblätter 22 können deshalb einer Treibmitteltemperatur von etwa 1260° C ausgesetzt sein, die erheblich über dem Temperaturbereich liegt, in welchem hochtemperaturbeständige Metallegierungen kontinuierlich betrieben werden können. Die aus einer Hochtemperaturlegierung bestehenden Halteelemente 26 sind dabei durch die Fliehkraft-Dichtungskeile 54 vor der hohen Temperatur geschützt und die kritischen, mit den keramischen Schaufelfüssen 40 zusammenwirkenden Teile der Halteelemente 26 werden durch Kühlmittel gekühlt, das von der gekühlten Läuferscheibe durch die Halteelemente hindurch in die zwischen den Schaufelfüssen gebildeten Hohlräume strömt. Diese Kühlmittelströmung ist ausreichend stark, um die Temperatur in diesem Bereich auf etwa 930° C und folglich innerhalb des für die Hochtemperaturlegierung zulässigen Bereiches zu halten. Ausserdem hält das Kühlmittel die Läuferscheibe auf einer Temperatur von etwa 320° C und somit in dem für die Ferrolegierung zulässigen Temperaturbereich, in welchem diese Legierung ihre mechanische Festigkeit behält.

Eine alternative Konstruktion, bei welcher die Läuferscheibe und die Halteelemente als einstückige Konstruktion aus einer Hochtemperaturlegierung ausgebildet sind, wäre unverhältnismässig teuer. Ein Weglassen der Halteelemente hingegen durch Ausdehnung der Halsteile 42 der Keramikschaufler bis zur Läuferscheibe würde so grosse Nuten in der Läuferscheibe erfordern, um die Fliehkraft zur Verringerung der Spannung zu verteilen, dass die Anzahl der am Läuferumfang unterzubringenden Schaufeln unannehmbar eingeschränkt wäre.

Die erfindungsgemässe Konstruktion der mittelbaren Schaufelhalterung an der Läuferscheibe mit Hilfe von Halte-

elementen stellt deshalb eine wirtschaftliche Möglichkeit zur Halterung keramischer Laufschaufeln an einer Läuferscheibe dar, bei welcher die geringe Zähigkeit des keramischen

Werkstoffes berücksichtigt ist und die metallenen Bauteile innerhalb von Temperaturbereichen gehalten werden können in denen sie ihre mechanischen Eigenschaften behalten.

