



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **252 031 A1**

4(51) F 01 D 5/18

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP F 01 D / 293 422 0	(22)	05.08.86	(44)	02.12.87
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71)	VEB Kraftwerk Elbe, Vockerode, 4401, DD
(72)	Reinhardt, Wolfgang, Dr.-Ing., DD

(54) Laufschaufel für Gasturbinen

(57) Die Gasturbinen, in denen die erfindungsgemäße Laufschaufel Anwendung findet, betreffen solche von axialer Bauart mit hohen Gaseintrittstemperaturen, z. B. in Kopplung mit einem Generator als Spitzenlastkraftwerk. Das wesentliche Merkmal besteht in der Anordnung von hauptsächlich gekühlten Zugankern im Inneren der Laufschaufel. Dadurch können die Querschnitte der Laufschaufel teilweise entlastet werden, was höhere Turbineneintrittstemperaturen ermöglicht.

Patentansprüche:

1. Laufschaufel für Gasturbinen, bestehend aus Schaufelblatt und Schaufelfuß und gegebenenfalls einem verlängerten Schaufelhals, **gekennzeichnet dadurch**, daß im Inneren der Laufschaufel (1) ein oder mehrere vorgespannte Zuganker (2) angeordnet sind.
2. Laufschaufel nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Vorspannung der Zuganker (2) mit der Maßgabe bemessen ist, die Zugspannungen in den Querschnitten der Laufschaufel (1) auf geringste Sicherheitsbeiwerte abzusinken.
3. Laufschaufel nach Anspruch 1 bis 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Querschnitt des Zugankers (2) mit der Maßgabe eines möglichst konstanten Spannungsverlaufes – resultierend aus Vorspannung und Fliehkraftspannung – profiliert ist.
4. Laufschaufel nach Anspruch 1 bis 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Zuganker (2) durch kraft- oder formschlüssige Elemente, wie Dehnmutter, Keile, Köpfe, entfernbare Zapfen oder durch Einschweißung, Einschrumpfung, Einpressung oder Einguß an seinen Enden verankert ist.
5. Laufschaufel nach Anspruch 1 bis 5, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Einbaubereich des Zugankers (2) in der Laufschaufel (1) oder der Zuganker (2) selbst außen an seinem Mantel oder innen durch Längsbohrungen (6) mit Prozeßluft in Schaufellängsrichtung gekühlt ist.
6. Laufschaufel nach Anspruch 1 bis 5, **gekennzeichnet dadurch**, daß der ungekühlte oder gekühlte Zuganker (2) mit einer Wärmesperre zwischen dem Mantel des Zugankers (2) und der Laufschaufel (1) in Form eines geringen Luftspaltes oder einer Beschichtung (5) geringer Wärmeleitfähigkeit versehen ist.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft Laufschaufeln für Gasturbinen in axialer Bauart mit hohen Gaseintrittstemperaturen. Die Erfindung eignet sich für ungekühlte, aber besonders für gekühlte Laufschaufeln.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

In Gasturbinen wird die Eintrittstemperatur des Arbeitsgases zur Erzielung eines maximalen Wirkungsgrades möglichst hoch gewählt. Da die verfügbaren Schaufelwerkstoffe trotz ihrer derzeit hochgezüchteten Form nur eine begrenzte Warmfestigkeit besitzen, sind dem Entwicklungstrend nach höheren Turbineneintrittstemperaturen Grenzen gesetzt. Diese Grenzen werden sowohl durch werkstofftechnische als auch konstruktive Entwicklungen weltweit ständig in Richtung höherer Eintrittstemperaturen verschoben.

Eine seit langem oft angewendete Maßnahme besteht darin, in den Leitschaufeln der 1. Stufe bereits einen großen Teil des Temperaturgefälles abzubauen, um die nachfolgenden hochbeanspruchten Laufschaufeln mit erträglichen Eintrittstemperaturen zu beaufschlagen.

Der Umsetzung von Temperaturgefälle im 1. Leitschaufelapparat sind aus Gründen der Stufenbelastung des Reaktionsgrades und der Kühlung Grenzen gesetzt.

Bei Weiterverfolgung des Trends zur Eintrittstemperaturerhöhung werden Maßnahmen erforderlich, um auch eine Temperatursteigerung vor dem Eintritt in die Laufschaufeln der 1. Stufe zu realisieren. Laufschaufeln stellen hochentwickelte Bauteile dar, um die Beanspruchungen aus Fliehkräften, Biegekräften und aus beiden Kräften resultierende Biegemomente sowie Schwingungsbeanspruchungen bei möglichst hohen Temperaturen in einer oxidierenden und abhängig vom Brennstoff und Zustand der Ansaugluft auch korrodierenden Atmosphäre mit hinreichender Lebensdauer und Sicherheit ertragen zu können. Hinzu kommen Schädigungseinflüsse durch instationäre Betriebsweise.

Die Anstrengungen zur Erhöhung der Eintrittstemperaturen gehen im wesentlichen folgende Wege:

1. Entwicklung warmfesterer Legierungen.
(Weiterentwicklung der bekannten Superlegierungen, Einsatz von Eutektica)
2. Schaffung neuartiger Werkstoffe. (Keramikwerkstoffe, Werkstoffe der Pulvermetallurgie)
3. Technologische Entwicklungen zur Gewährleistung warmfesterer Eigenschaften der Legierungen.
(Erschmelzen im Vakuum; Wärmebehandlungen zur Gefügebeeinflussung; gerichtete Erstarrung; Erschmelzen und Präzisionsgießen im schwerelosen Raum)
4. Entwicklungen von Schutzschichten einschließlich Technologien zu ihrer Aufbringung auf den Schaufelwerkstoff.
(Vakuumbedampfen, Plasmabeschichten, Platieren u. a. m.)
5. Mechanische und thermische Behandlung von Oberflächen und Schutzschichten. (Kugelstrahlen)
6. Konstruktion der Schaufeln. (Hohlschaufeln)

7. Anwendung von Laufschaufelkühlung. (Luftkühlung mit Prozeßluft, Flüssigkeitskühlung mit Zwang- und Naturumlauf)
Es sind Werkstoffe und Ausführungen von Laufschaufeln für Flugzeuggasturbinen, maritime und stationäre Gasturbinen sowie Versuchsgeräte in vielgestaltiger Form bekannt und auswahlweise in folgender Literatur dargestellt:

- [1] Kruschik, J.: Die Gasturbine, 2. Auflage, Springer-Verlag, Wien 1960
- [2] Gasprovic, N.: Gasturbinen-Probleme und Anwendungen, VDI-Verlag, Düsseldorf 1967
- [3] Schatt, W.: Werkstoffe des Maschinen-, Anlagen- und Apparatebaus, VEB Deutscher Verlag für Grundstoff, Leipzig 1974
- [4] Fachkunde für den Kraftwerksbetrieb „Dampf- und Gasturbinen, Teil 2“, 2. Ausgabe, VGB-Verlag, Essen 1983
- [5] Gayter, H.: „Hochtemperaturlegierungen für Gasturbinen“
- [6] Cordes, G.: Strömungstechnik der gasbeaufschlagten Axialturbine, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1963
- [7] Neue Nickellegierung ermöglicht höhere Betriebstemperaturen für Gasturbinenschaufeln, Motortechnische Zeitschrift 44 (1983) 78, Seite 267 f.
- [8] Jacobi, Chr.; Schneider, K.: Gasturbinenschaufeln in Ausführung, Fertigung und Betrieb, Technische Mitteilungen 75 (1982) 8, S. 406–411
- [9] Malik, M.: Thermische Spritzen von Flugzeug- und Triebwerkskomponenten, DVS-Berichte (1978) 53, Seite 114–121, Düsseldorf
- [10] Stephan, H.: PVD-Überzugsschichten auf Turbinenschaufeln aus gerichtet erstarrten Werkstoffen DVS-Berichte (1979) 58, Seite 26–33, Düsseldorf
- [11] Sahm, P. R.: Gerichtete Erstarrung eutektischer Legierungen: Werkstofftechnologien für Gasturbinenschaufeln, Metall 34 (1980), Heft 4, Seite 328–333
- [12] Gasturbinenschaufeln für hohe Gastemperaturen, Energie 27 (1975), Heft 1, Seite 24–26

So sind Schaufelwerkstoffe in [1] Seite 442 ff., [2] Seite 147 ff., 171 ff., [3] Seite 204 ff., [4] Seite 826 sowie [5] und [7] beschrieben. Hingegen sind grundsätzliche Gestaltung und bekannte Lösungen von Gasturbinenschaufeln einschließlich der Kühlung in [1] Seite 247 ff., [2] Seite 253 ff., [6] Seite 220 ff. und [8] dargestellt. Den letzten Stand der Entwicklung repräsentierende Ausführungen sowie Oberflächenschutzschichten und gerichtete Erstarrung von Eutetika werden in [9], [10], [11] und [12] dargestellt. Alle die bekannten und in der voranstehenden Literatur beschriebenen Gasturbinenschaufeln zeichnen sich dadurch aus, daß sie aus einer hochwarmfesten Legierung bzw. Keramik bestehen. Teilweise sind sie mit Kühlkanälen der unterschiedlichsten Form versehen bzw. haben Schutzschichten oder beides.

In der DE-AS 1 551 167 (F 01 D 5/14) wird der Werkstoff durch hochwarmfeste Einlagen verstärkt, wobei die Einlagen mit einer Diffusionshemmenden Schicht versehen werden, um eine die Eigenschaften verschlechternde Material-Diffusion zwischen dem zunderbeständigen Schaufelwerkstoff und den Einlagen zu vermeiden. Im US-Patent 4 285 634 (F 01 D 5/18) der MTU München wird eine Gasturbinenlaufschaufel aus Keramikmaterial beschrieben, wobei radiale metallische Führungskerne die Zugbeanspruchungen aufnehmen. Die metallischen Kerne sind gleitend in der Radscheibe verankert. Das Keramikschaufelblatt wird von einer Kopfplatte abgefangen. Das Schaufelblatt aus Keramik kann sich frei dehnen zur Vermeidung von unzulässigen Flächenpressungen.

In der DE-AS 1 912 253 (14 c 11/05) der United Aircraft Corporation von 1969 wird eine Gasturbinenlaufschaufel beschrieben, die aus einem mittleren Hauptteil aus einem Einkristall einer Co- oder Ni-Hochtemperaturlegierung besteht. Vorder- und Hinterkante bestehen aus einer feuerfesten Masse und sind am Hauptteil angesetzt. Im Vorderkanten- und Hinterkantenansatz sind Adern aus Einkristallen vorgesehen. Durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten wird die Feuerfestmasse auf Druck vorgespannt. Weitere, mit metallischen Einlagen ausgestattete Schaufeln nach DE-OS 1 551 176 (14 C 5/14), DE-AS 1 551 167 (14 C 5/14) und SU 547 530 (F 01 D 5/16) bezwecken durch die metallischen Einlagen lediglich eine Dämpfung von Schaufelblattschwingungen.

Ziel der Erfindung

Mit der Erfindung soll erreicht werden, durch vergleichsweise geringe Aufwendungen eine höhere Turbineneintrittstemperatur zu ermöglichen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Aufgabe ist es, die den höchsten Spannungen und Temperaturen ausgesetzten Querschnitte der Turbinenschaufeln teilweise von den Fliehkraftzugspannungen zu entlasten.

Die Lösung des Problems besteht erfindungsgemäß darin, daß im Inneren der Turbinenschaufel längs ihrer Körperachse ein oder mehrere vorgespannte Zuganker angeordnet sind.

Laufschaufeln der 1. Stufe mit ihren häufig dicken Profilen bei Ausführung von geringen Reaktionsgraden vom Fußprofil bis zum Mittelschnitt bieten sich dafür besonders an.

Der Zuganker bzw. die Zuganker können über die gesamte Schaufelhöhe oder nur bis über den Querschnitt der höchsten Beanspruchung geführt werden. Im letzteren Fall bleibt die Ausführung der Verwindung des Blattes und der Schwerpunktanordnung der Profile unbeeinflusst.

Des weiteren kann das radial innen liegende Ende des Zugankers entweder nur bis zum Fußquerschnitt des Schaufelblattes oder weiter bis in einen Zwischenkörper (Wärmestromdrossel) oder sogar bis in den Laufschaufelfuß geführt werden.

Der oder die Zuganker sind mit einer genau zu bemessenden Vorspannung (Zugspannung) einzubauen. Die Vorspannung soll durch geeignete Maßnahmen beim Einbau mechanisch – im einfachsten Fall durch eine Dehnmutter – durch eine Spannvorrichtung oder durch thermisches Einschrumpfen oder durch eine Kombination von diesen Maßnahmen aufgebracht werden.

Die Arretierung des vorgespannten Zugankers kann durch kraft- oder formschlüssige Elemente oder durch Einschweißen erfolgen. Dadurch, daß die Zuganker selbst der Fliehkraftbeanspruchung aus der Eigenmasse unterliegen und zusätzlich der Vorspannung ausgesetzt sind, werden sie zu einem hoch beanspruchten Bauteil. Diese Beanspruchung des Zugankers wird jedoch durch geeignete Werkstoffauswahl, Dimensionierung und Profilierung sowie durch ihre Anordnung im Bereich niedrigerer Temperaturen durch Kühlung beherrschbar gemacht.

Insbesondere ergeben sich Vorteile, wenn der Bereich der Zuganker oder der Zuganker selbst mit Prozeßluft oder einem anderen Kühlgas gekühlt wird. Dabei soll die Luftzuführung über den Schaufelfuß in Kanäle um den Zuganker herum oder axial durch eine Bohrung im Zuganker selbst erfolgen.

Die Kühlung axial durch den Zuganker selbst ist besonders vorteilhaft, da sie einerseits die Temperatur des Zugankers sehr wirksam absenkt und andererseits durch den Wärmeübergangswiderstand zwischen der Oberfläche des Zugankers und dem Schaufelkörper zu keinen erhöhten Wärmespannungen in dem Schaufelkörper führt. Um diesen Effekt gezielt auszunutzen, kann der Zuganker mit einem geringen Luftspalt am Umfang eingebaut oder mit einer Beschichtung mit einem Material geringer Wärmeleitfähigkeit versehen sein. Der Zuganker selbst kann im einfachsten Fall kreiszylindrisch ausgeführt sein. Wirkungsvoller ist jedoch eine Profilierung des Querschnittsverlaufs in der Weise, daß im Zuganker mit Einrechnung der Vorspannung und Fliehkraftzugspannung ein möglichst konstanter Spannungsverlauf über seine Länge erzielt wird. Damit soll eine Erhöhung der Turbineneintrittstemperatur, d. h. Erhöhung von Leistung und Wirkungsgrad, unter Weiterverwendung der bisher üblichen Hochtemperaturlegierungen ermöglicht werden. Es handelt sich bei dieser konstruktiven Maßnahme somit um eine gegenüber den sehr aufwendigen neuesten Entwicklungen vergleichsweise billige Lösung. Mit dieser Maßnahme kann die Temperaturgrenze des Einsatzes der bekannten Werkstoffe um einen gewissen, vom Typ der Gasturbine abhängigen Betrag weiter angehoben werden. Ein weiterer Vorteil der Erfindung wird darin gesehen, daß eine Temperatursteigerung erreichbar ist, ohne daß die bewährten Fertigungsmethoden der Laufschaufeln, wie spanabhebende Fertigung, Gesenkschmieden oder Präzisionsgießen, für den Schaufelkörper verlassen werden müssen. Auch die Möglichkeiten der Schaufelbeschichtung bleiben ebenfalls erhalten. Die erfindungsgemäße Laufschaufel kann parallel zum Einsatz neuer Werkstoffe realisiert werden. Der Effekt der Reduzierung der Fliehkraftspannungen in den gefährdeten Querschnitten und der resultierende Spannungsverlauf wurde an einer Laufschaufel rechnerisch untersucht. Die Rechnung belegt die Wirkung der vorgeschlagenen Lösung.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung ist nachstehend anhand einer Zeichnung erläutert. In der Zeichnung stellen dar:

- Fig. 1: eine Vorderansicht einer stehenden Laufschaufel mit einem partiellen Vertikalschnitt im Bereich des Zugankers,
Fig. 2: eine Seitenansicht nach Fig. 1, ebenfalls mit einem partiellen Vertikalschnitt im Bereich des Zugankers.

Die Zeichnung stellt eine hohle Laufschaufel 1 dar mit der Anordnung eines Kreiszylindrischen Zugankers 2 zur Entlastung der höchstbeanspruchten Querschnitte der Laufschaufel 1.

Der Zuganker 2 wird durch eine Längsbohrung 6 in axialer Richtung durch Prozeßluft gekühlt. Die Arretierung der Vorspannung wird im abgebildeten Beispiel so gelöst, daß ein zu Kerbspannungen neigendes Gewinde vermieden wird. Der Zuganker 2, der einen angearbeiteten Kopf hat, wird unter Vorspannung im Bereich 5 des Schaufelfußes eingeschweißt. Zum Aufbringen der Vorspannung mittels einer Vorrichtung hat der Zuganker 2 einen Zapfen 4, der nach dem Schweißen entfernt werden kann.

Der Zuganker 2 ist im Kontaktbereich zum Material der Laufschaufel 1 mit einem geringen Luftspalt oder mit einer Beschichtung 3 geringer Wärmeleitfähigkeit versehen.

Fig. 1

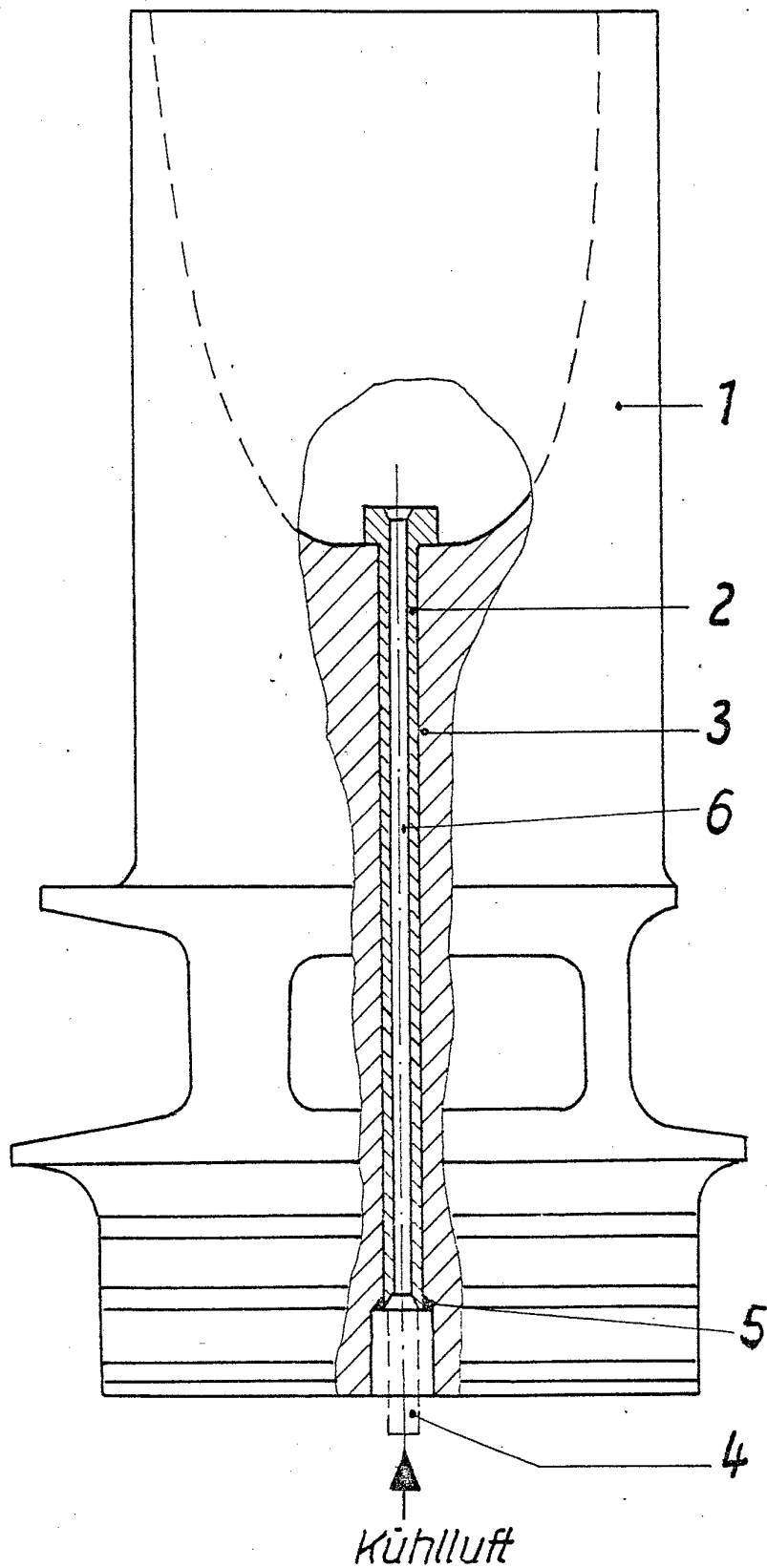


Fig. 2

