

(19)



(11)

EP 2 725 193 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.07.2015 Patentblatt 2015/31

(51) Int Cl.:
F01D 5/16^(2006.01) F01D 5/18^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12189768.0**

(22) Anmeldetag: **24.10.2012**

(54) Verfahren zur Verstimmung der Schaufeln eines Gasturbinenkraftwerks.

Method for detuning the blades in a gas turbine engine and corresponding gas turbine engine.

Méthode pour désaccorder les aubes d'un moteur de turbine à gas et moteur de turbine à gas correspondant.

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
30.04.2014 Patentblatt 2014/18

(73) Patentinhaber: **MTU Aero Engines AG**
80995 München (DE)

(72) Erfinder: **Schönenborn, Harald**
85757 Karlsfeld (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
US-A- 2 916 258 US-A- 4 097 192
US-A- 6 042 338 US-A1- 2002 064 458

EP 2 725 193 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Gasturbine.

[0002] Bei Schaufeln von Gasturbinen kann im Betrieb durch aeroelastische Effekte sogenanntes Schaufelflattern auftreten.

[0003] Die US 2,916,258 schlägt hierzu eine verstimmte Schaufelanordnung mit Schaufeln vor, die alle unterschiedliche Massen und damit Eigenfrequenzen aufweisen. Zur Variation der Massen können die Schaufeln als Vollschaufeln mit unterschiedlichen Profildicken oder als Hohl Schaufeln ausgebildet sein, die jeweils einen zentralen Hohlraum aufweisen, wobei die Hohlräume verschiedener Schaufeln unterschiedlich groß sind.

[0004] Die US 6,042,338 A schlägt eine Schaufelanordnung mit ersten und zweiten Schaufeln vor, wobei die ersten Schaufeln je eine erste Aussparung und die zweiten Schaufeln je eine hiervon verschiedene zweite Aussparung aufweisen.

[0005] Die US 2002/0064458 A1 schlägt eine Schaufelanordnung mit ersten und zweiten Schaufeln vor, wobei die ersten und zweiten Schaufeln unterschiedliche Dicken, Sehnenlängen, Krümmungswinkel oder Profildicken aufweisen, um ihre Schwingungsmodi zu variieren.

[0006] Die US 4,097,192 schlägt eine Schaufelanordnung mit ersten und zweiten Schaufeln vor, wobei die ersten Schaufeln an der Schaufelspitze je eine Aussparung und die zweiten Schaufeln aussparungslose Schaufelspitzen aufweisen.

[0007] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine verbesserte Gasturbine zur Verfügung zu stellen, insbesondere ein Schaufelflattern in einer Gasturbine zu reduzieren.

[0008] Diese Aufgabe wird durch eine Gasturbine mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0009] Eine Gasturbine nach einem Aspekt der vorliegenden Erfindung weist eine Stufenanordnung mit einer oder mehreren Stufen auf, die jeweils in Umfangsrichtung wechselweise angeordnete erste und zweite Schaufeln aufweist.

[0010] Eine oder mehrere dieser Stufen können Turbinenstufen zum Entspannen von Gas sein, insbesondere kann eine dieser Stufen eine Hoch- oder Niederdruckturbinenstufe sein. Zusätzlich oder alternativ können eine oder mehrere dieser Stufen Verdichterstufen zum Verdichten von Gas sein, insbesondere kann eine dieser Stufen eine Hoch- oder Niederdruckverdichterstufe sein.

[0011] Die ersten und zweiten Schaufeln können, insbesondere rotorfeste, Laufschaufeln und/oder, insbesondere stator- bzw. gehäusefeste, Leitschaufeln sein. Eine Gasturbine nach der vorliegenden Erfindung kann also insbesondere eine (Hoch- oder Niederdruck)Turbinenstufe mit ersten und zweiten Turbinenlaufschaufeln aufweisen. Zusätzlich oder alternativ kann diese oder ei-

ne andere (Hoch- oder Niederdruck)Turbinenstufe erste und zweite Turbinenleitschaufeln aufweisen. Zusätzlich oder alternativ kann eine Gasturbine nach der vorliegenden Erfindung eine (Hochoder Niederdruck)Verdichterstufe mit ersten und zweiten Verdichteraufschaufeln aufweisen. Zusätzlich oder alternativ kann diese oder eine andere (Hoch- oder Niederdruck)Verdichterstufe erste und zweite Verdichterleitschaufeln aufweisen.

[0012] Eine oder mehrere dieser Stufen weisen erste und zweite Schaufeln auf. In einer Ausführung bestehen eine oder mehrere dieser Stufen aus ersten und zweiten Schaufeln bzw. weisen keine dritten Schaufeln mit einer hiervon verschiedenen Hohlraumanordnung auf. Unter wechselweise angeordneten ersten und zweiten Schaufeln wird entsprechend insbesondere eine Anordnung verstanden, in der jeder ersten Schaufel beiderseits unmittelbar eine zweite Schaufel und jeder zweiten Schaufel beiderseits unmittelbar eine erste Schaufel benachbart ist, gegebenenfalls abgesehen von einem Schaufelpaar erster oder zweiter unmittelbar benachbarter Schaufeln bei einer ungeradzahigen Gesamtschaufelzahl der Stufe. Eine Schaufelanordnung mit nur zwei wechselweise angeordneten Schaufelarten in einer Stufe hat sich überraschend als besonders günstig erwiesen, insbesondere, um Schaufelflattern zu reduzieren.

[0013] In einer Weiterbildung können Laufschaufelanordnungen verschiedener, insbesondere benachbarter oder durch wenigstens eine weitere Stufe beabstandeter Turbinenund/oder Verdichterstufen, und/oder Leitschaufelanordnungen dieser oder hiervon verschiedener, insbesondere benachbarter oder durch wenigstens eine weitere Stufe beabstandeter Turbinen- und/oder Verdichterstufen, jeweils wechselweise angeordnete erste und zweite Schaufeln aufweisen, um insbesondere ein Schaufelflattern weiter zu reduzieren.

[0014] Die ersten (Leit- und/oder Lauf)Schaufeln weisen jeweils eine erste Hohlraumanordnung und die zweiten (Leit- und/oder Lauf)Schaufeln jeweils eine hiervon verschiedene zweite Hohlraumanordnung auf.

[0015] Durch unterschiedliche Hohlraumanordnungen in benachbarten, wechselweise angeordneten Schaufeln können insbesondere deren Steifigkeits- und/oder Massenverteilungen und damit insbesondere deren Eigen- bzw. Schwingungsformen variiert und gegeneinander verstimmt werden bzw. sein, insbesondere bei gleicher Gesamtmasse einer Schaufel. Insbesondere können die ersten und zweiten Schaufeln in einer Ausführung bei, wenigstens im Wesentlichen, gleicher oder ähnlicher Eigenfrequenz unterschiedliche Eigenformen aufweisen, so dass von den schwingenden Schaufeln induzierte Druckstörungen unterschiedlich sind und sich in der Strömung unterschiedlich ausbreiten.

[0016] Zusätzlich oder alternativ können auch ihre Eigenfrequenzen variiert und gegeneinander verstimmt werden bzw. sein. In einer Ausführung kann insbesondere eine erste Eigenfrequenz, insbesondere die erste Biegeeigenfrequenz, der ersten Schaufeln um wenigstens 2%, insbesondere um wenigstens 3% von einer ers-

ten Eigenfrequenz, insbesondere der ersten Biegeeigenfrequenz, der zweiten Schaufeln abweichen. Zusätzlich oder alternativ können diese erste Eigenfrequenz der ersten Schaufeln in einer Ausführung um höchstens 9%, insbesondere um höchstens 8% von dieser ersten Eigenfrequenz der zweiten Schaufeln abweichen. Eine Schaufelanordnung mit solchen Eigenfrequenzunterschieden in einer Stufe hat sich überraschend als besonders günstig erwiesen, insbesondere, um Schaufelflattern zu reduzieren.

[0017] Die erste und zweite Hohlraumanordnung unterscheiden sich erfindungsgemäß in der Anzahl von Hohlräumen. Insbesondere kann die eine (erste/zweite) Hohlraumanordnung einen oder zwei Hohlräume aufweisen. Die andere (zweite/erste) Hohlraumanordnung kann in einer Ausführung insbesondere einen oder mehr Hohlräume mehr aufweisen als die eine (erste/zweite) Hohlraumanordnung, insbesondere also zwei Hohlräume, wobei die eine (erste/zweite) Hohlraumanordnung einen Hohlraum aufweist, oder drei Hohlräume, wobei die eine (erste/zweite) Hohlraumanordnung zwei Hohlräume aufweist. Der bzw. die Hohlräume können sich insbesondere, wenigstens im Wesentlichen, parallel zu einer Stapelachse der jeweiligen Schaufel erstrecken. Zwei oder mehr Hohlräume einer Hohlraumanordnung können auf einer begrenzten radialen Länge miteinander kommunizieren, insbesondere an einem schaufelspitzen- und/oder schaufelfußnahen Ende der Hohlräume. Ein Hohlraum im Sinne der vorliegenden Erfindung ist insbesondere in wenigstens einem Abwicklungsschnitt bzw. einem Schnitt auf einer radialen Höhe einer Schaufel durch eine geschlossene Umfangskontur definiert und von einem oder mehreren weiteren Hohlräumen dieser Schaufel unterschieden, die dann im Sinne der vorliegenden Erfindung entsprechend mehrere Hohlräume aufweist.

[0018] Die erste und zweite Hohlraumanordnung können in einer Ausführung, wenigstens im Wesentlichen, dasselbe Volumen aufweisen. Hierzu kann in einer Ausführung insbesondere die Summe der Schnittflächen bzw. die Gesamtschnittfläche aller Hohlräume der ersten Hohlraumanordnung in allen Abwicklungsschnitten bzw. Schnitten auf allen radialen Höhen einer Schaufel der Summe der Schnittflächen bzw. der Gesamtschnittfläche aller Hohlräume der zweiten Hohlraumanordnung in diesen Abwicklungsschnitten, wenigstens im Wesentlichen entsprechen. Dieselben Volumina können jedoch auch durch Hohlräume mit unterschiedlichen Schnittflächen bzw. Konturen in wenigstens einem Abwicklungsschnitt ausgebildet sein, indem die Hohlräume unterschiedliche Erstreckungen in Längs- bzw. Stapelrichtung der Schaufel aufweisen und/oder der Schnittflächenunterschied auf einer anderen radialen Höhe kompensiert wird.

[0019] Zusätzlich oder alternativ können die ersten und zweiten Schaufeln, wenigstens im Wesentlichen, dasselbe Gewicht aufweisen, wobei dies insbesondere durch die vorstehend erläuterten gleichen Gesamtvolumina und damit dieselbe Vollmaterialfehlmenge realisiert

sein kann, gleichermaßen jedoch auch durch, wenigstens abschnittsweise, unterschiedliche Schaufelmaterialien.

[0020] Zwei Hohlräume einer Hohlraumanordnung können unterschiedliche Gestalt aufweisen, insbesondere in wenigstens einem Abwicklungsschnitt bzw. einem Schnitt auf einer radialen Höhe einer Schaufel nicht-kongruente Konturen. Zusätzlich oder alternativ können ein Hohlraum der einen (ersten/zweiten) Hohlraumanordnung und ein diesem in seiner Relativposition zur Schaufel entsprechende Hohlraum der anderen (zweiten/ersten) Hohlraumanordnung eine unterschiedliche Gestalt aufweisen, insbesondere in wenigstens einem Abwicklungsschnitt bzw. einem Schnitt auf einer radialen Höhe einer Schaufel nicht-kongruente Konturen. Allgemein können vorderkantennächste Hohlräume der ersten Hohlraumanordnung und hinterkantennächste Hohlräume der ersten Hohlraumanordnung und/oder vorderkantennächste Hohlräume der zweiten Hohlraumanordnung eine unterschiedliche Gestalt aufweisen.

[0021] Die ersten und zweiten Schaufeln können in einer Ausführung stoffschlüssig miteinander verbunden sein bzw. werden, insbesondere miteinander ur- oder umgeformt oder verschweißt. Insbesondere können die ersten und zweiten Schaufeln eine sogenannte Blisk ("Blade Integrated Disk") bilden.

[0022] Die ersten und/oder zweiten Hohlraumanordnungen können in einer Ausführung mit den jeweiligen Schaufeln urgeformt sein bzw. werden. Insbesondere können die Schaufeln gegossen und die Hohlraumanordnungen durch Kerne definiert werden. In einer Ausführung werden bzw. sind die ersten und/oder zweiten Schaufeln generativ hergestellt, insbesondere indem schichtweise Material lokal, insbesondere optisch, thermisch und/oder chemisch, verfestigt wird. Hierdurch können vorteilhaft auch komplexere, insbesondere hermetisch abgeschlossene Hohlraumanordnungen, hergestellt werden bzw. sein.

[0023] Gleichermaßen können die ersten und/oder zweiten Hohlraumanordnungen auch nach einem Urformen der Schaufeln hergestellt sein bzw. werden, insbesondere materialabnehmend und/oder -vernichtend, vorzugsweise zerspanend oder verdampfend.

[0024] In einer Ausführung werden bzw. sind die Hohlraumanordnungen, insbesondere ihre Gestalt, Anordnung innerhalb der Schaufeln und/oder ihr Volumen, auf ein Reduzieren von Schaufelflattern gegenüber einer Stufe mit wenigstens zwei benachbarten Schaufeln mit der ersten oder zweiten Hohlraumanordnung abgestimmt. Dies kann insbesondere simulativ und/oder experimentell erfolgen.

[0025] Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus den Unteransprüchen und dem Ausführungsbeispiel. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert, die einzige:

55 Fig. 1: einen Teil einer Stufe mit in Umfangsrichtung wechselweise angeordneten ersten und zweiten Schaufeln einer Gasturbine nach einer

Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0026] Fig. 1 zeigt einen Abwicklungsschnitt bzw. einen Schnitt auf einer konstanten radialen Höhe einer Stufe einer Gasturbine nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung. Die Stufe kann insbesondere eine Turbinen- oder Verdichterstufe sein.

[0027] Die Stufe weist in Umfangsrichtung (vertikal in Fig. 1) wechselweise angeordnete erste Schaufeln 12 und zweite Schaufeln 10 auf, deren Außenkontur, wenigstens im Wesentlichen, gleich ist. Die Schaufeln 10, 12 können insbesondere rotorfeste Laufschaufeln oder stator- bzw. gehäusefeste Leitschaufeln sein.

[0028] Die zweiten Schaufeln 10 weisen jeweils eine zweite Hohlraumanordnung mit je einem Hohlraum 20 auf, der parallel zu einer Stapelachse der Schaufel 10 ist, insbesondere mit dieser fluchten kann.

[0029] Die ersten Schaufeln 12 weisen jeweils eine hiervon verschiedene erste Hohlraumanordnung auf. Die erste Hohlraumanordnung besteht aus zwei Hohlräumen 21A, 21B, die in dem Schnitt der Fig. 1 voneinander getrennt sind. In einem Schnitt auf einer anderen radialen Höhe können sie in einer Ausführung miteinander kommunizieren. Gleichermaßen können sie auch abgeschlossen sein, insbesondere, wenn in einer Ausführung die Schaufeln generativ hergestellt sind, so dass die ersten und zweiten Hohlraumanordnungen mit den Schaufeln urgeformt sind.

[0030] Die erste und zweite Hohlraumanordnung weist somit eine unterschiedliche Anzahl von Hohlräumen auf. Gleichwohl weisen die erste und zweite Hohlraumanordnung, wenigstens im Wesentlichen, dasselbe Volumen auf. Insbesondere weisen sie im Schnitt der Fig. 1 dieselbe Gesamtschnittfläche auf, d.h. die Schnittfläche des Hohlraums 20 entspricht, wenigstens im Wesentlichen, der Summe der Schnittflächen der Hohlräume 21A, 21B, wobei die Erstreckung der Hohlräume 20, 21A, 21B in radialer Richtung (senkrecht zur Bildebene der Fig. 1) einander ebenfalls, wenigstens im Wesentlichen, entspricht. Gleichermaßen können in einer Ausführung die Hohlräume der ersten und zweiten Hohlraumanordnung auch in wenigstens einem Abwicklungsschnitt unterschiedliche Gesamtflächen aufweisen. Dies kann in anderen Abwicklungsschnitten und/oder durch die radiale Erstreckung der Hohlräume kompensiert werden, um, wenigstens im Wesentlichen, gleiche Volumina von erster und zweiter Hohlraumanordnung auszubilden.

[0031] Da die ersten und zweiten Schaufeln einander im Übrigen baulich, insbesondere in ihrer Außenkontur und ihrem Material, entsprechen, weisen sie, wenigstens im Wesentlichen, dasselbe Gewicht auf.

[0032] Man erkennt in Fig. 1 zudem, dass der vorderkantennächste Hohlraum 21A der ersten Hohlraumanordnung und der hinterkantennächste Hohlraum 21B der ersten Hohlraumanordnung eine unterschiedliche Gestalt aufweisen. Ebenso weisen der vorderkantennächste Hohlraum 21A der ersten Hohlraumanordnung und der vorderkantennächste Hohlraum 20 der zweiten Hohl-

raumanordnung eine unterschiedliche Gestalt auf.

[0033] Die Hohlraumanordnungen sind auf ein Reduzieren von Schaufelflattern gegenüber einer Stufe mit wenigstens zwei benachbarten Schaufeln mit der ersten oder zweiten Hohlraumanordnung abgestimmt. Hierzu weicht die erste Biegeeigenfrequenz der ersten Schaufeln 12 um 5% von der ersten Biegeeigenfrequenz der zweiten Schaufeln 10 ab.

10 Bezugszeichenliste

[0034]

10	zweite Schaufeln
12	erste Schaufeln
20	zweite Hohlräume
21A, 21B	erste Hohlräume

20 Patentansprüche

1. Gasturbine mit einer Stufenanordnung mit wenigstens einer Stufe mit in Umfangsrichtung wechselweise angeordneten ersten und zweiten Schaufeln (12, 10), wobei die ersten Schaufeln (12) jeweils eine erste Hohlraumanordnung und die zweiten Schaufeln (10) jeweils eine hiervon verschiedene zweite Hohlraumanordnung aufweisen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste und zweite Hohlraumanordnung eine unterschiedliche Anzahl von Hohlräumen (21 A, 21 B; 20) aufweist.
2. Gasturbine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stufenanordnung eine Turbinenstufenanordnung zum Entspannen von Gas oder eine Verdichterstufenanordnung zum Verdichten von Gas ist.
3. Gasturbine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ersten und zweiten Schaufeln (12, 10) Laufschaufeln oder Leitschaufeln sind.
4. Gasturbine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine erste Eigenfrequenz der ersten Schaufeln (12) um wenigstens 2%, insbesondere wenigstens 3%, und/oder höchstens 9%, insbesondere höchstens 8% von einer ersten Eigenfrequenz der zweiten Schaufeln (10) abweicht.
5. Gasturbine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste und zweite Hohlraumanordnung, wenigstens im Wesentlichen, dasselbe Volumen aufweist.
6. Gasturbine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ers-

ten und zweiten Schaufeln, wenigstens im Wesentlichen, dasselbe Gewicht aufweisen.

7. Gasturbine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** vorderkantennächste Hohlräume (21 A) der einen, insbesondere ersten, Hohlraumanordnung und hinterkantennächste Hohlräume (21B) derselben Hohlraumanordnung und/oder vorderkantennächste Hohlräume (20) der anderen, insbesondere zweiten Hohlraumanordnung eine unterschiedliche Gestalt aufweisen.
8. Gasturbine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ersten und zweiten Schaufeln stoffschlüssig miteinander verbunden, insbesondere generativ hergestellt sind.
9. Gasturbine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ersten und/oder zweiten Hohlraumanordnungen mit den Schaufeln urgeformt oder nach einem Urformen der Schaufeln hergestellt sind.

Claims

1. A gas turbine having an arrangement of stages having at least one stage with first and second blades (12, 10) that are alternately arranged in the circumferential direction, wherein the first blades (12) in each case have a first arrangement of cavities and the second blades (10) in each case have a second arrangement of cavities that differs therefrom, **characterised in that** the first and second arrangement of cavities have a different number of cavities (21A, 21B; 20).
2. A gas turbine according to claim 1, **characterised in that** the arrangement of stages is an arrangement of turbine stages for expanding gas or an arrangement of compressor stages for compressing gas.
3. A gas turbine according to one of the preceding claims, **characterised in that** the first and second blades (12, 10) are rotor blades or guide blades.
4. A gas turbine according to one of the preceding claims, **characterised in that** a first natural frequency of the first blades (12) deviates by at least 2%, in particular at least 3%, and/or at most 9%, in particular at most 8%, from a first natural frequency of the second blades (10).
5. A gas turbine according to one of the preceding claims, **characterised in that** the first and second arrangement of cavities have at least substantially

the same volume.

6. A gas turbine according to one of the preceding claims, **characterised in that** the first and second blades have at least substantially the same weight.
7. A gas turbine according to one of the preceding claims, **characterised in that** cavities (21A), next to the leading edge, of the one, in particular the first, arrangement of cavities and cavities (21B), next to the trailing edge, of the same arrangement of cavities and/or cavities (20), next to the leading edge, of the other, in particular the second, arrangement of cavities have different shapes.
8. A gas turbine according to one of the preceding claims, **characterised in that** the first and second blades are connected together in a firmly bonded manner, in particular are generatively produced.
9. A gas turbine according to one of the preceding claims, **characterised in that** the first and/or second arrangement of cavities are formed with the blades by primary shaping or are produced after the primary shaping of the blades.

Revendications

1. Turbine à gaz à structure étagée comportant au moins un étage comprenant des premières et des deuxièmes aubes (12, 10) disposées alternativement dans le sens périphérique, les premières aubes (12) présentant chacune une première disposition d'espaces creux et les deuxièmes aubes (10) chacune une deuxième disposition d'espaces creux différente de la première, **caractérisée en ce que** les premières et deuxième dispositions d'espaces creux présentent un nombre différents d'espaces creux (21A, 21B ; 20).
2. Turbine à gaz selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la structure étagée est une structure étagée de turbine pour détendre du gaz ou une structure étagée de compresseur pour compresser du gaz.
3. Turbine à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les premières et deuxièmes aubes (12, 10) sont des aubes mobiles ou des aubes directrices.
4. Turbine à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**une première fréquence fondamentale des premières aubes (12) diffère d'au moins 2 %, en particulier d'au moins 3 % et/ou au plus de 9 %, en particulier au plus de 8 % d'une première fréquence fondamentale des deuxièmes aubes (10).

5. Turbine à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les première et deuxième dispositions d'espaces creux ont, du moins pour l'essentiel, le même volume. 5
6. Turbine à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les premières et deuxièmes aubes ont, du moins pour l'essentiel, le même poids. 10
7. Turbine à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** des espaces creux les plus proches du bord d'attaque (21A) d'une, en particulier de la première, disposition d'espaces creux et des espaces creux les plus proches du bord de fuite (21B) de la même disposition d'espaces creux et/ou des espaces creux les plus proches du bord d'attaque (20) de l'autre, en particulier de la deuxième, disposition d'espaces creux, ont une configuration différente. 20
8. Turbine à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les premières et deuxièmes aubes sont reliées entre elles par liaison de matériaux, en particulier sont fabriquées avec une méthode de fabrication générative. 25
9. Turbine à gaz selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les premières et/ou deuxièmes dispositions d'espaces creux sont initialement formées avec les aubes ou aménagées après la fabrication initiale des aubes. 30

35

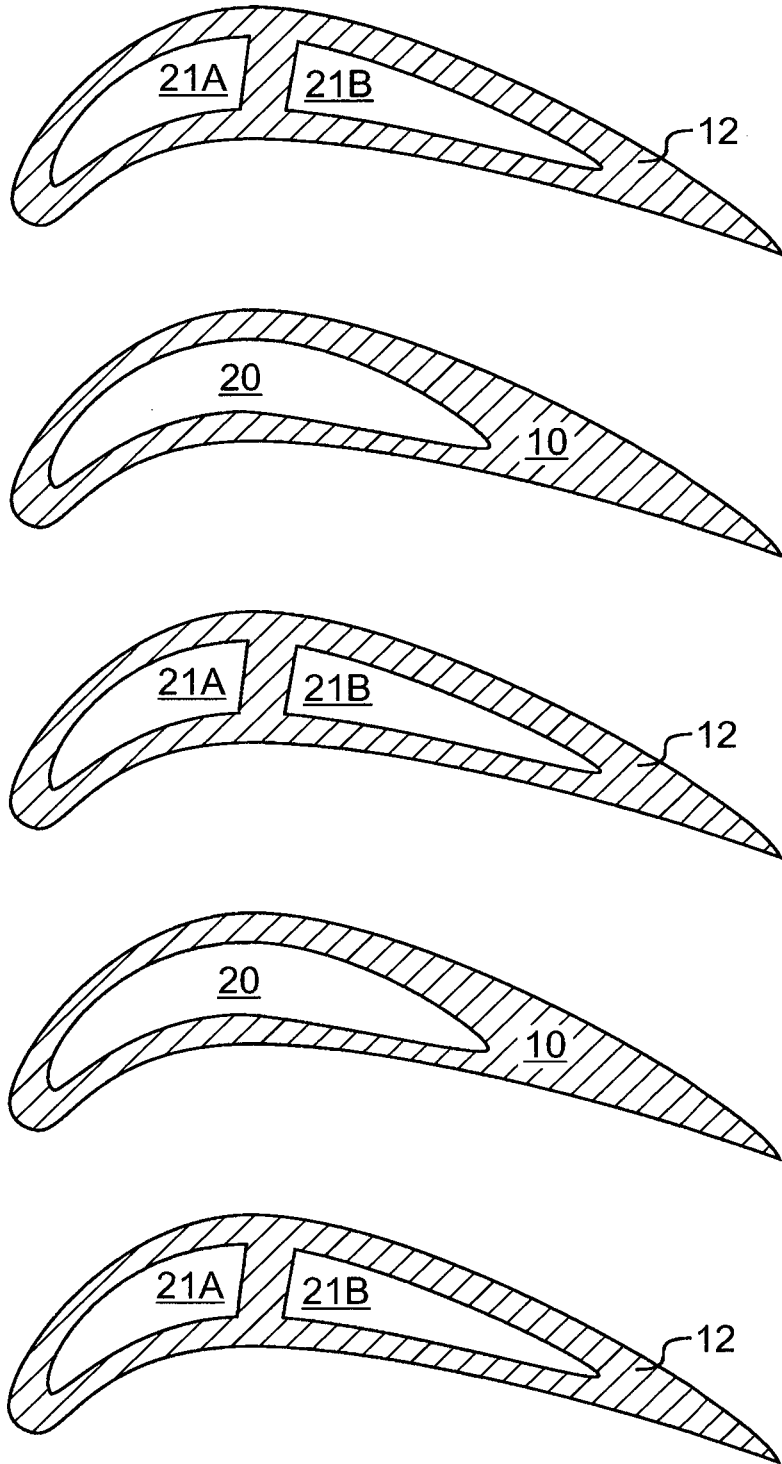
40

45

50

55

Fig. 1



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

- US 2916258 A [0003]
- US 6042338 A [0004]
- US 20020064458 A1 [0005]
- US 4097192 A [0006]