

(19)



(11)

EP 3 088 667 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
02.11.2016 Patentblatt 2016/44

(51) Int Cl.:
F01D 5/18 (2006.01) F01D 5/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15165745.9**

(22) Anmeldetag: **29.04.2015**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

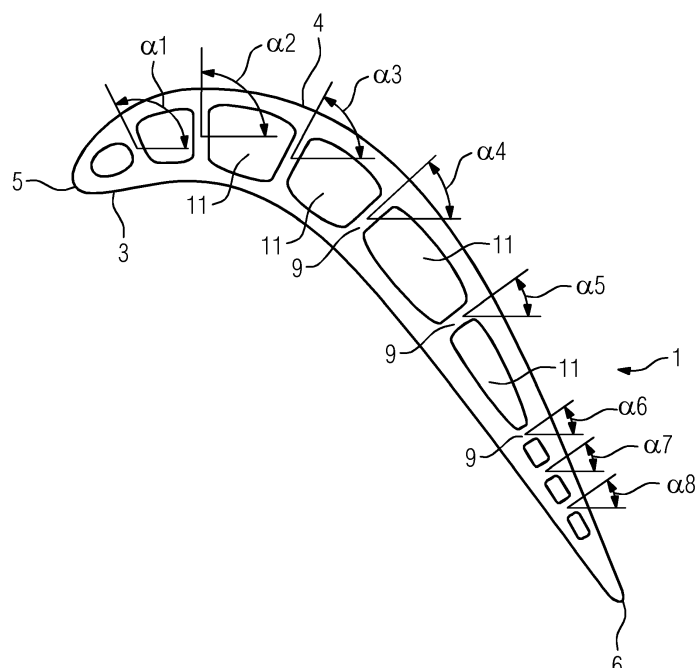
(72) Erfinder: **Menke, Christian**
45329 Essen (DE)

(54) TURBINENSCHAUFEL MIT QUERRIPPEN

(57) Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel umfassend ein Schaufelblatt (1) mit einer druckseitigen und einer saugseitigen Seitenwand (3, 4), die an einer anströmseitigen Vorderkante (5) und an einer abströmseitigen Hinterkante (6) miteinander verbunden sind, und die sich in Längsrichtung von einem Schaufelblattfuß (7) zu einer Schaufelblattspitze (8) erstrecken und einen hohlen Innenraum definieren, wobei in dem hohlen Innenraum zumindest eine Rippe (9) angeordnet ist, die

sich in einer Längserstreckungsrichtung zwischen dem Schaufelblattfuß (7) und der Schaufelblattspitze (8) und in einer orthogonal zu der Längserstreckungsrichtung verlaufenden Quererstreckungsrichtung (10) zwischen der druckseitigen und der saugseitigen Seitenwand (3, 4) erstreckt, wobei sich die Quererstreckungsrichtung (10) von der zumindest einen Rippe (9) in Längsrichtung der Rippe (9) ändert.

FIG 6



EP 3 088 667 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Turbinenschaufel umfassend ein Schaufelblatt mit einer druckseitigen und einer saugseitigen Seitenwand, die an einer anströmseitigen Vorderkante und an einer abströmseitigen Hinterkante miteinander verbunden sind, und die sich in Längsrichtung von einem Schaufelblattfuß zu einer Schaufelblattspitze erstrecken und einen hohlen Innenraum definieren, wobei in dem hohlen Innenraum zumindest eine Rippe angeordnet ist, die sich in einer Längserstreckungsrichtung zwischen dem Schaufelblattfuß und der Schaufelblattspitze und in einer orthogonal zu der Längserstreckungsrichtung verlaufenden Quererstreckungsrichtung zwischen der saugseitigen und der druckseitigen Seitenwand erstreckt.

[0002] Um besonders gute Wirkungsgrade realisieren zu können, wird ein Betrieb von Gasturbinenanlage bei immer höheren Temperaturen angestrebt. Die Komponenten der Anlage, insbesondere die Turbinenschaufeln, sind dabei den hohen Temperaturen ausgesetzt und das bzw. die Materialien, aus welchen die Turbinenschaufeln gefertigt sind, können an die Grenzen ihrer Belastbarkeit kommen. Treten temperaturbedingte Zerstörungen der Turbinenschaufeln auf, muss die Anlage, in welchen diese Verwendung finden angehalten werden und es sind aufwendige Austausch- und/oder Reparaturarbeiten erforderlich.

[0003] Es ist bekannt, dass die Temperaturbeständigkeit von Turbinenschaufeln durch verschiedene Kühlverfahren erhöht werden kann. Dabei kommt neben der Konvektionskühlung unter anderem auch die Prallkühlung und die Filmkühlung zum Einsatz.

[0004] Im Rahmen der Konvektionskühlung wird ein Kühlfluid, insbesondere Kühlluft verwendet, welches insbesondere durch den hohlen Innenraum des Schaufelblattes der Turbinenschaufel geführt wird, um Wärme konvektiv abzuführen. Für die Führung des Kühlfluids können im Inneren des Schaufelblattes Kanäle vorgesehen sein, die beispielsweise durch eine oder mehrere plattenförmige Rippen definiert werden, welche sich in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes von dem Fuß bis zur Spitze des Schaufelblattes erstrecken. Die Rippen unterteilen den hohlen Schaufelinnenraum in zwei oder mehr nebeneinanderliegende Abschnitte, durch welche das Kühlfluid im Betrieb der Anlage geführt werden kann.

[0005] Insbesondere für stark belastete Bereiche der Turbinenschaufel, insbesondere des Schaufelblattes, kann ferner die Prallkühlung Anwendung finden. Im Rahmen dieses Verfahrens wird das Kühlfluid derart geführt, dass es von innen auf vorgegebene Bereiche des Schaufelblattes prallt, wodurch eine besonders hohe Kühlwirkung für diese Bereiche erzielt wird. Diese Art der Kühlung wird beispielsweise für die anströmseitige Vorderkante des Schaufelblattes eingesetzt.

[0006] Bei der Filmkühlung wird ferner die Außenfläche des Schaufelblattes zumindest abschnittsweise mit

einem Kühlfluidfilm überzogen, durch welchen verhindert werden soll, dass die Schaufelblattoberfläche mit dem heißen Prozessgas unmittelbar in Berührung kommt. Für die Erzeugung des Kühlfluidfilms sind in der Wandung des Schaufelblattes Kühlluftbohrungen vorgesehen, welche den hohlen Schaufelblattinnenraum mit der Schaufelblattaußenseite verbinden und über welche das Kühlmedium aus dem Schaufelblattinneren zu der Schaufelblattaußenseite geführt werden kann.

[0007] Sämtliche der vorgenannten Kühlarten finden in Alleinstellung oder in Kombination Anwendung, um einen wirtschaftlichen und sicheren Betrieb von Gasturbinenanlagen gewährleisten zu können.

[0008] Es besteht jedoch Bedarf daran, die Kühlung von Turbinenschaufeln weiter zu optimieren, unter anderem, um die möglichen Betriebstemperaturen weiter erhöhen und somit verbesserte Wirkungsgrade erzielen zu können.

[0009] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Turbinenschaufel anzugeben, die sich durch eine gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Kühlbarkeit und eine höhere Lebensdauer auszeichnet.

[0010] Diese Aufgabe wird bei einer Turbinenschaufel der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass sich die Quererstreckungsrichtung von der zumindest einen Rippe in Längsrichtung der Rippe ändert.

[0011] Es hat sich gezeigt, dass die bekannten Turbinenschaufeln, welche Rippen mit in Längsrichtung des Schaufelblattes konstanter Erstreckungsrichtung von der druck- zu der saugseitigen Seitenwand aufweisen, keine zufriedenstellende thermische sowie mechanische Optimierung ermöglichen. Durch die gleichförmigen, planen Rippen können nur Kühlkanäle mit ebenen Seitenflächen erhalten werden, was eine starke Einschränkung möglicher Geometrien bedeutet.

[0012] Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, die Kühlbarkeit einer Turbinenschaufel durch eine verbesserte Kühlfluidführung in dem Schaufelblattinnenraum zu optimieren. Hierfür weist das Schaufelblatt der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel in seinem hohlen Innenraum eine oder mehrere Rippe(n) auf, von denen sich eine oder mehrere durch eine gegenüber dem Stand der Technik modifizierte Geometrie auszeichnen.

[0013] Konkret erstreckt sich die Rippe bzw. jede Rippe zwar wie bei den Schaufelblättern bekannter Turbinenschaufeln in einer Längsrichtung von dem Schaufelblattfuß zu der Schaufelblattspitze durch den hohlen Innenraum des Schaufelblattes, und verbindet die saugseitige und die druckseitige Seitenwand des Schaufelblattes, zeichnet sich also neben einer Längserstreckungsrichtung auch durch eine zu dieser Richtung orthogonale Quererstreckungsrichtung von der saugseitigen zu der saugseitigen Seitenwand aus. Die Rippe hat bzw. die Rippen haben jedoch nicht, wie bei den aus dem Stand der Technik bekannten Schaufelblättern die Form einer ebenen Platte, deren Erstreckungsrichtung von der druck- zu der saugseitigen Seitenwand entlang der gesamten Längsausdehnung des Schaufelblattes konstant

ist. Erfindungsgemäß variiert die Quererstreckungsrichtung der Rippe(n) in Längsrichtung. D.h., wenn man an unterschiedlichen Positionen in Längsrichtung die Erstreckungsrichtung der Rippe bzw. der Rippen im Querschnitt betrachtet, so ist diese für die verschiedenen Längspositionen unterschiedlich.

[0014] Der erfindungsgemäße Einsatz von einer bzw. mehreren Rippe(n), bei denen sich die Orientierung bzw. die Lage der Quererstreckung über die Längserstreckung der Rippe(n) ändert, ermöglicht eine Optimierung von Schaufelblättern sowohl in thermischer als auch in mechanischer Hinsicht.

[0015] Die durch die Rippen im Schaufelblattinnenraum definierten Kühlkanäle zeichnen sich bei dem erfindungsgemäßen Schaufelblatt durch eine gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Ausgestaltung aus. Die Rippen können beispielsweise für eine gegebene Form der druck- und saugseitigen Seitenwände erfindungsgemäß derart ausgestaltet sein, dass druck- und saugseitig gleichförmige Kühlflächen vorliegen. Die Geometrie der Kühlkanäle ist erfindungsgemäß völlig flexibel an unterschiedlichste Betriebsparameter anpassbar.

[0016] Es können darüber hinaus erfindungsgemäß mechanisch optimierte, vor allem besonders spannungsarme Rippen in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes ausgebildet sein.

[0017] Im Ergebnis zeichnet sich die erfindungsgemäße Turbinenschaufel durch eine verbesserte Temperaturbeständigkeit, eine erhöhte Lebensdauer und eine flexiblere Einsatzfähigkeit aus. Gasturbinen, in welchen die erfindungsgemäßen Turbinenschaufeln zum Einsatz kommen, können unter optimalen Bedingungen mit besonders hohen Wirkungsgraden betrieben werden.

[0018] Als Quererstreckungsrichtung wird die Richtung der Quererstreckung der Rippe bzw. der jeweiligen Rippe betrachtet, das heißt, die Richtung der Ausdehnung der Rippe orthogonal zu ihrer Längsausdehnung. Die Querausdehnung einer Rippe an einer vorgegebenen Position in Längsausdehnung dieser kann dem Querschnitt durch das Schaufelblatt an der entsprechenden Längsposition entnommen werden. Breitet sich die Rippe im Querschnitt geradlinig aus, wie es zum Beispiel bei einer Rippe in Form einer schraubenförmig verdrehten länglichen Platte der Fall ist, fällt die Quererstreckungsrichtung mit einer sich entlang des Rippenquerschnittes zentral durch diesen erstreckenden Geraden zusammen.

[0019] Weist die Rippe einen Querschnitt einer nicht geradlinigen Form auf, fällt die Quererstreckungsrichtung mit einer Geraden zusammen, die sich mittig durch die beiden Endbereiche des Rippenquerschnitts erstreckt. In der Regel verbindet die Rippe bzw. verbinden die Rippen die saugseitige und die druckseitige Seitenwand des Schaufelblattes, wobei die Quererstreckungsrichtung dann mit einer Geraden zusammenfällt, die sich im Querschnitt mittig durch die beiden Verbindungsgebiete zwischen der jeweiligen Rippe und der saugseitigen bzw. der druckseitigen Seitenwand erstreckt.

[0020] Die Rippe bzw. die Rippen können sich derart längs durch den hohlen Innenraum des Schaufelblattes der Turbinenschaufel erstrecken, dass ihre Längserstreckungsrichtung parallel zur Längsachse des Schaufelblattes liegt. Alternativ kann sich eine oder können sich alle Rippen in einem Winkel zur Längsachse des Schaufelblattes durch dieses vom Schaufelblattfuß zur Schaufelblattspitze erstrecken.

[0021] Eine erfindungsgemäße Turbinenschaufel kann durch Gießen hergestellt werden, wobei in an sich bekannter Weise neben einer die Außenkontur der Turbinenschaufel definierenden Gießform Kerne zum Einsatz kommen, um die Rippen in dem hohlen Schaufelinnenraum zu erhalten. Die Kerne können aus einem Keramikmaterial gefertigt sein und im Anschluss an das Gießen der erfindungsgemäßen Turbinenschaufeln durch Auslaugen aus dem Schaufelblattinnenraum entfernt werden.

[0022] Die Kerne, die bei der Fertigung der erfindungsgemäßen Turbinenschaufeln zum Einsatz kommen, können insbesondere unter Verwendung von Kernwerkzeugen aus flexiblen Materialien erhalten werden. Bei Kernwerkzeugen aus flexiblen Materialien besteht der große Vorteil, dass nach dem Gießvorgang für das Ausbringen des Kerns aus dem Kernwerkzeug die Öffnungsrichtung des Werkzeugs nicht festgelegt ist. Es sind auch Hinterschnidungen möglich, ohne dass der Kern beim Entfernen des Kernwerkzeugs Zerstörungen erfährt.

[0023] Die Verwendung von Kernwerkzeugen aus flexiblen Materialien ermöglicht variable Ziehwinkel an jeder Position in Längsrichtung und somit eine größtmögliche Flexibilität, vor allem, was die erhältliche Form der Rippe(n) in den Schaufelblättern angeht.

[0024] Die bekannten Kernwerkzeuge hingegen, die aus festem Materialien, wie etwa Metall bestehen und in der Regel zweiteilig ausgebildet sind, müssen geöffnet werden, indem sie in eine vorgegebene Ziehrichtung von dem gegossenen Kern gezogen werden. Hinterschnidungen sind dabei nicht möglich. Mit den bekannten starren Kernwerkzeugen können aus diesem Grunde nur Kerne gegossen werden, über welche Rippen erhalten werden, deren Quererstreckungsrichtung über die gesamte Längsausdehnung des Schaufelblattes konstant ist.

[0025] Die Nachteile der bekannten Turbinenschaufeln, bei denen die Geometrie der Rippen in den Schaufelblättern auf eine in Längsrichtung konstante Quererstreckungsrichtung beschränkt ist, werden mit der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel vollständig überwunden.

[0026] Gemäß einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel sind zwei oder mehr Rippen in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes angeordnet.

[0027] Das Schaufelblatt der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel kann in seinem Innenraum nur eine Rippe aufweisen, welche den Innenraum dann insbesondere in zwei als Kühlkanäle dienende Raumabschnitte zu bei-

den Seiten der Rippe unterteilt. Alternativ können zwei oder mehr, zum Beispiel drei, vier, fünf oder auch acht Rippen in dem Schaufelblatinnenraum vorgesehen sein, durch welche eine Unterteilung in drei oder mehr Raumabschnitte erfolgt.

[0028] Eine weitere Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass sich bei mehreren, insbesondere bei allen Rippen die Quererstreckungsrichtung der Rippe in Längsrichtung der Rippe ändert.

[0029] Weist das Schaufelblatt der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel in seinem hohlen Innenraum mehrere Rippen auf, so kann sich nur eine einzige Rippe durch eine in Längsrichtung der Rippe variierende Quererstreckungsrichtung auszeichnen. Alternativ kann sich die Quererstreckungsrichtung bei mehreren, insbesondere auch bei allen Rippen in Längsrichtung der Rippen ändern.

[0030] Beispielsweise können acht Rippen in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes angeordnet sein und es kann sich bei sechs oder sieben Rippen die Quererstreckungsrichtung der Rippe in Längsrichtung der Rippe ändern. Diese Ausführungsform hat sich als besonders geeignet erwiesen, um eine optimierte Kühlbarkeit der Turbinenschaufel zu erzielen.

[0031] Die Erfindung sieht weiterhin vor, dass sich bei zumindest einer Rippe die Quererstreckungsrichtung in Längsrichtung der Rippe kontinuierlich ändert.

[0032] Dabei kann weiterhin vorgesehen sein, dass sich die Quererstreckungsrichtung in Längsrichtung der Rippe über die gesamte Längsausdehnung der Rippe kontinuierlich ändert. Alternativ dazu kann auch vorgesehen sein, dass sich die Quererstreckungsrichtung nicht über die gesamte Länge der Rippe ändert, sondern nur entlang eines Abschnitts der Rippe. So zeichnet sich eine Ausführungsform dadurch aus, dass sich die Quererstreckungsrichtung in Längsrichtung der Rippe über wenigstens 25%, insbesondere über wenigstens 50%, bevorzugt über wenigstens 75% der gesamten Längsausdehnung der Rippe ändert.

[0033] In Weiterbildung der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel ist ferner vorgesehen, dass bei zumindest einer Rippe, bevorzugt bei mehreren Rippen der Winkel, welcher zwischen der Quererstreckungsrichtung der Rippe und einer sich in Längsrichtung des Schaufelblattes erstreckenden Referenzebene eingeschlossen wird, in Längsrichtung der Rippe insbesondere kontinuierlich kleiner wird.

[0034] Der Winkel kann beispielsweise um wenigstens 2° oder um wenigstens 4° oder um wenigstens 10° oder um wenigstens 20° kleiner werden. Dabei kann insbesondere vorgesehen sein, dass der Winkel über die gesamte Längserstreckung der Rippe um die vorgenannten Winkel kleiner wird. Alternativ dazu wird der Winkel nicht über die gesamte Länge der Rippe um die vorgenannte Werte kleiner sondern nur über einen Abschnitt der Rippe.

[0035] Sind mehrere Rippen in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes der erfindungsgemäßen Turbinen-

schaufel angeordnet, kann sich bei jeder der Rippen der Winkel um einen anderen Wert ändern. Die konkrete Geometrie der Rippe bzw. der Rippen ist im Einzelfall individuell zu wählen. Dabei kann beispielsweise berücksichtigt werden, welche Außenkontur die Turbinenschaufel aufweist. Die Geometrie der Rippe bzw. der Rippen wird beispielsweise derart gewählt, dass auf der druck- und der saugseitigen Seitenwand gleichförmige Kühlflächen erhalten werden. Andere Geometrien sind ebenfalls möglich.

[0036] Die Quererstreckungsrichtung der Rippe bzw. eine Orientierung der Quererstreckungsrichtung der Rippe an jeder Position in Längsrichtung der Rippe kann zum Beispiel angegeben werden, indem in der Querschnittsebene des Schaufelblattes an der jeweiligen Längs-Position der Winkel angegeben wird, der zwischen der Quererstreckungsrichtung und einer Referenzebene eingeschlossen wird. Die Referenzebene dient dann als fixe Bezugsebene für die sich verändernde Quererstreckungsrichtung einer Rippe. Als Referenzebene kann prinzipiell jede Ebene dienen, die sich parallel zu einer Längsachse des Schaufelblattes erstreckt. Als Referenzebene kann beispielsweise eine sich parallel zu der anströmseitigen Vorderkante des Schaufelblattes erstreckende Ebene dienen. Die Referenzebene kann ferner derart gewählt sein, dass sie die jeweilige Rippe mittig schneidet.

[0037] Es kann für alle Rippen in dem Schaufelblatt einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel die gleiche Referenzebene betrachtet werden oder für jede Rippe eine eigene Referenzebene.

[0038] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird bei zumindest einer Rippe, bevorzugt bei mehreren Rippen der Winkel, welcher zwischen der Quererstreckungsrichtung der Rippe und einer sich in Längsrichtung des Schaufelblattes erstreckenden Referenzebene eingeschlossen wird, in einem unteren Abschnitt der Rippe insbesondere kontinuierlich größer und in einem sich an den unteren Abschnitt der Rippe anschließenden mittleren Abschnitt der Rippe insbesondere kontinuierlich kleiner und in einem sich an den mittleren Abschnitt der Rippe anschließenden oberen Abschnitt der Rippe insbesondere kontinuierlich größer.

[0039] Gemäß dieser Ausführungsform ändert sich der Winkel in Längsrichtung des Schaufelblattes nicht nur in eine Richtung, wird also in Längsrichtung nicht durchgehend größer, sondern er wird einem unteren, dem Schaufelblattfuß zugewandten Abschnitt der Rippe zunächst größer, dann in einem mittleren Abschnitt wieder kleiner und abschließend in einem der Schaufelspitze zugewandten oberen Abschnitt der Rippe erneut wieder größer.

[0040] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist bei zumindest einer Rippe, bevorzugt bei mehreren Rippen der Winkel, welcher zwischen der Quererstreckungsrichtung der Rippe und einer sich in Längsrichtung des Schaufelblattes erstreckenden Referenzebene eingeschlossen wird, in einem unteren Abschnitt der Rippe

konstant und wird in einem sich an den unteren Abschnitt der Rippe anschließenden oberen Abschnitt der Rippe in Längsrichtung der Rippe insbesondere kontinuierlich kleiner. Die Rippe zeichnet bzw. die Rippen zeichnen gemäß dieser Ausführungsform in einem dem Schaufelblattfuß zugewandten unteren Abschnitt durch eine Quererstreckungsrichtung aus, welche sich nicht ändert, also konstant ist. Eine Änderung der Quererstreckungsrichtung liegt nur in einem sich an den unteren Abschnitt anschließenden oberen Abschnitt vor, welcher der Schaufelblattspitze zugewandt ist.

[0041] Auch kann vorgesehen sein, dass wenigstens eine Rippe die Form einer um eine Längsachse schraubenförmig verdrehten länglichen Platte aufweist. Diese Rippenform stellt eine weitere Variante einer besonders geeigneten Form für ein thermisch und mechanisch optimiertes Schaufelblatt dar. Auch ist es möglich, dass die Rippe nur über einen Abschnitt die Form einer schraubenförmig verdrehten länglichen Platte aufweist und in den verbleibenden Bereich anders ausgebildet ist.

[0042] Die Rippe bzw. die Rippen können sich durch eine konstante Wandstärke auszeichnen.

[0043] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung beschrieben. In der Zeichnung zeigt:

Figur 1 eine Außenansicht einer bekannten Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt in schematischer Darstellung;

Figur 2 einen Schnitt durch das Schaufelblatt gemäß der Linie II-II in Figur 1;

Figur 3 einen Schnitt durch das Schaufelblatt gemäß der Linie III-III in Figur 1;

Figur 4 einen Schnitt durch das Schaufelblatt gemäß der Linie IV-IV in Figur 1.

Figur 5 eine Außenansicht einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel mit einem Schaufelblatt in schematischer Darstellung;

Figur 6 einen Schnitt durch das Schaufelblatt gemäß der Linie VI-VI in Figur 5;

Figur 7 einen Schnitt durch das Schaufelblatt gemäß der Linie VII-VII in Figur 5; und

Figur 8 einen Schnitt durch das Schaufelblatt gemäß der Linie VIII-VIII in Figur 5.

[0044] Die Figur 1 zeigt eine Außenansicht einer aus dem Stand der Technik bekannten Turbinenschaufel in schematischer Darstellung. Die Turbinenschaufel umfasst ein Schaufelblatt 1 und einen im Querschnitt tanenbaumförmigen Schaufelfuß 2.

[0045] Das Schaufelblatt 1 der Turbinenschaufel um-

fasst eine druckseitigen Seitenwand 3 und eine saugseitigen Seitenwand 4, die an einer anströmseitigen Vorderkante 5 und an einer abströmseitigen Hinterkante 6 miteinander verbunden sind, und die sich in Längsrichtung von einem Schaufelblattfuß 7 zu einer Schaufelblattspitze 8 erstrecken.

[0046] Wie aus den in den Figuren 2, 3 und 4 gezeigten Schnittdarstellungen gemäß der Linien II-II, III-III und IV-IV aus der Figur 1 hervorgeht, definieren die druckseitige Seitenwand 3 und die saugseitige Seitenwand 4 des Schaufelblattes 1 einen hohlen Innenraum. In dem hohlen Innenraum sind insgesamt acht Rippen 9 angeordnet, die sich in einer Längserstreckungsrichtung zwischen dem Schaufelblattfuß 7 und der Schaufelblattspitze 8 erstrecken. Die Längserstreckungsrichtung jeder der acht Rippen 9 verläuft parallel zu der Längsachse A des Schaufelblattes 1.

[0047] Die acht Rippen 9 sind in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes 1 zwischen der anströmseitigen Vorderkante 5 und der abströmseitigen Hinterkante 6 des Schaufelblattes 1 von der anströmseitigen Vorderkante 5 aus betrachtet hintereinanderliegend angeordnet.

[0048] Die acht Rippen 9 erstrecken sich ferner in einer orthogonal zu der Längserstreckungsrichtung und somit der Längsachse A des Schaufelblattes 1 verlaufenden Quererstreckungsrichtung 10 zwischen der druckseitigen Seitenwand 3 und der saugseitigen Seitenwand 4. Jede der acht Rippen 9 verbindet die druckseitige Seitenwand 3 und die saugseitige Seitenwand 4. Durch die acht Rippen 9 wird der hohle Innenraum des Schaufelblattes 1 in insgesamt neun nebeneinanderliegende Kühlkanäle 11 unterteilt, die sich parallel zu der Längsachse A des Schaufelblattes 1 erstrecken.

[0049] Bei der in den Figuren 1 bis 4 dargestellten bekannten Turbinenschaufel ist die Quererstreckungsrichtung 10 jeder der in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes 1 angeordneten acht Rippen 9 über die gesamte Längserstreckung der jeweiligen Rippen 9 konstant. Die Quererstreckungsrichtung 10 ändert sich also nicht entlang der Spannweite des Schaufelblattes 1, sondern ist an allen Längspositionen des Schaufelblattes 1 identisch. Die Rippen 9 in dem Schaufelblatt 1 der bekannten Turbinenschaufel weisen die Form von ebenen länglichen Platten auf.

[0050] Unter der Quererstreckungsrichtung 10 der Rippen 9 ist dabei die Richtung ihrer Quererstreckung, also bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel die Richtung der Erstreckung der Rippen 9 von der druckseitigen Seitenwand 3 zu der saugseitigen Seitenwand 4 in einer Ebene orthogonal zu deren Längsausdehnung und somit orthogonal zur Längsachse A des Schaufelblattes 1 zu verstehen. Die Quererstreckungsrichtung 10 fällt bei den plattenförmigen Rippen 9 mit einer mittig durch den Querschnitt der jeweiligen Rippe 9 verlaufenden Geraden zusammen.

[0051] Die in Längsrichtung gleichbleibende Quererstreckungsrichtung 10 der Rippen 9 kann auch einem

Vergleich der drei Schnittdarstellungen der Figuren 2, 3 und 4 entnommen werden, welche einen Querschnitt durch das Schaufelblatt 1 entlang einer unteren, dem Schaufelblattfuß 8 nahen Linie II-II, entlang einer mittleren, von dem Schaufelblattfuß 7 und der Schaufelblattspitze 8 in etwa gleich beabstandeten Linie III-III sowie einer oberen, der Schaufelblattspitze 8 nahen Linie IV-IV in Figur 1 zeigen. Der untere Schnitt entlang der Linie II-II befindet sich in etwa auf einer Höhe von einem Viertel der Gesamtausdehnung des Schaufelblattes 1 in Längsrichtung. Der Schnitt entlang der Linie III-III liegt ungefähr auf mittlerer Höhe des Schaufelblattes 1 und der Schnitt entlang der Linie IV-IV liegt an einer Längsposition bei etwa Dreiviertel der Gesamtausdehnung des Schaufelblattes 1 in Längsrichtung.

[0052] In der Schnittdarstellung der Figur 3 ist jeder der acht Rippen 9 eine Referenzebene 12 zugeordnet, die sich - was der Schnittdarstellung in Figur 3 nicht entnommen werden kann - parallel zu der Längsachse A des Schaufelblattes 1 erstreckt. Alle Referenzebenen 12 sind parallel zueinander ausgerichtet und schneiden die jeweilige Rippe 9 mittig.

[0053] Für jede der acht Rippen 9 ist der Winkel α , der zwischen der Quererstreckungsrichtung 10 und der Referenzebene 12 eingeschlossen wird, in den Figuren 2 bis 4 eingezeichnet. Ein Vergleich der Winkel α_1 bis α_8 in den Figuren 2, 3 und 4 zeigt, dass die Winkel aller acht Rippen 9 in allen drei Schnittdarstellung, also für die drei Längspositionen der Linien II-II, III-III und IV-IV gleich groß sind.

[0054] Die Figur 5 zeigt eine Außenansicht einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Turbinenschaufel in schematischer Darstellung. Sämtliche in der Außenansicht in Figur 5 erkennbaren Komponenten sind zu den Komponenten der in Figur 1 dargestellten bekannten Turbinenschaufel baugleich und daher mit identischen Bezugsziffern versehen.

[0055] Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel unterscheidet sich von der in Figur 1 dargestellten bekannten Turbinenschaufel allein hinsichtlich der Ausgestaltung von sieben der in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes 1 angeordneten acht Rippen 9. Bei der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel zeichnen sich konkret die von der anströmseitigen Vorderkante 5 aus betrachtet erste und dritte bis achte Rippe 9 dadurch aus, dass sich ihre Quererstreckungsrichtung in Längsrichtung ändert.

[0056] Die Figuren 6, 7 und 8 zeigen Schnitte durch das Schaufelblatt 1 gemäß der Linien VI-VI, VII-VII und VIII-VIII in Figur 5, also Querschnitte durch das Schaufelblatt 1 der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel entlang einer unteren, dem Schaufelblattfuß 8 nahen Linie VI-VI, entlang einer mittleren, von dem Schaufelblattfuß 7 und der Schaufelblattspitze 8 in etwa gleich beabstandeten Linie VII-VII sowie einer oberen, der Schaufelblattspitze 8 nahen Linie VIII-VIII. Wie in den Figuren 2, 3 und 4 liegen die drei Schnitte jeweils auf einer Höhe von etwa einem Viertel, der Mitte und Dreiviertel der Gesamtaus-

dehnung des Schaufelblattes 1 in Längsrichtung.

[0057] In den Figuren 6 bis 8 und den Figuren 2 bis 4 sind gleiche Bauteile wiederum mit gleichen Bezugsziffern versehen.

[0058] Bei der erfindungsgemäßen Turbinenschaufel ändert sich die Quererstreckungsrichtung 10 bei den von der anströmseitigen Vorderkante 5 des hohlen Schaufelblattes 1 aus betrachtet ersten Rippe 9 derart, dass der Winkel α_1 , in Figur 7, welche den Schnitt entlang der Linie VII-VII in Figur 5 zeigt, also auf etwa mittlerer Höhe des Schaufelblattes 1 um etwa $0,5^\circ$ kleiner ist als in dem Schnitt entlang der Linie VI-VI, welche etwa auf Höhe von einem Viertel der Gesamtausdehnung des Schaufelblattes 1 in Längsrichtung entspricht. Der Winkel α_1 in der Figur 8, welche den Schnitt entlang der Linie VIII-VIII aus Figur 5 zeigt, ist nochmals um 1° Grad kleiner als der Winkel in Figur 7.

[0059] Der Winkel α_2 der zweiten Rippe 9 ist über die gesamte Längsausdehnung der zweiten Rippe 9 konstant.

[0060] Der Winkel α_3 hingegen ist in den Figuren 6 und 7, also auf unterer und mittlerer Höhe des Schaufelblattes 1 gleich groß und in dem in Figur 8 dargestellten oberen Schnitt entlang der Linie VIII-VIII um 1° kleiner als an der in Figur 7 dargestellten Längsposition.

[0061] Der Winkel α_4 ist, wie der Winkel α_3 in Figur 6 und Figur 7 gleich groß. In Figur 8 ist der Winkel α_4 jedoch um 20° kleiner als in der Figur 7.

[0062] Der Winkel α_5 ist in der Figur 7 um 8° kleiner als in der Figur 6 und in der Figur 8 um 2° kleiner als in der Figur 6.

[0063] Der Winkel α_6 ist in der Figur 7 um 1° kleiner als in der Figur 6 und in der Figur 8 genauso groß wie in der Figur 7.

[0064] Der Winkel α_7 der siebten Rippe 9 ist in Figur 7 um 2° kleiner als in der Figur 6 und in der Figur 8 genauso groß wie in der Figur 7.

[0065] Schließlich ist der Winkel α_8 in dem Schnitt in der Figur 7 um 1° kleiner als in dem Schnitt in der Figur 6 und in dem Schnitt gemäß Figur 8 nochmals um 1° kleiner als in dem in Figur 7 dargestellten.

[0066] Die von der vorderseitigen Anströmkannte 5 aus betrachtet zweite Rippe 9 weist die Form einer ebenen länglichen Platte auf.

[0067] Durch die gegenüber dem Stand der Technik veränderte Ausgestaltung von sieben der acht Rippen 9 in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes 1 wird eine Turbinenschaufel mit gegenüber dem Stand der Technik optimierten Kühlkanälen 11 erhalten. Dabei wurde die konkrete Geometrie der Rippen bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel in Abhängigkeit der Außenkontur der Turbinenschaufel optimiert.

[0068] Die erfindungsgemäße Turbinenschaufel zeichnet sich im Ergebnis durch eine verbesserte Kühlbarkeit aus. Sie kann insbesondere höheren Prozessgastemperaturen standhalten und hat eine längere Lebensdauer.

[0069] Obwohl die Erfindung im Detail durch das be-

vorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Turbinenschaufel umfassend ein Schaufelblatt (1) mit einer druckseitigen und einer saugseitigen Seitenwand (3, 4), die an einer anströmseitigen Vorderkante (5) und an einer abströmseitigen Hinterkante (6) miteinander verbunden sind, und die sich in Längsrichtung von einem Schaufelblattfuß (7) zu einer Schaufelblattspitze (8) erstrecken und einen hohlen Innenraum definieren, wobei in dem hohlen Innenraum zumindest eine Rippe (9) angeordnet ist, die sich in einer Längserstreckungsrichtung zwischen dem Schaufelblattfuß (7) und der Schaufelblattspitze (8) und in einer orthogonal zu der Längserstreckungsrichtung verlaufenden Quererstreckungsrichtung (10) zwischen der druckseitigen und der saugseitigen Seitenwand (3, 4) erstreckt,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich die Quererstreckungsrichtung (10) von der zumindest einen Rippe (9) in Längsrichtung der Rippe (9) ändert.
2. Turbinenschaufel nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
zwei oder mehr Rippen (9) in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes (1) angeordnet sind.
3. Turbinenschaufel nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich bei mehreren Rippen (9) die Quererstreckungsrichtung (10) der Rippe (9) in Längsrichtung der Rippe (9) ändert.
4. Turbinenschaufel nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich bei allen Rippen (9) die Quererstreckungsrichtung (10) der Rippe (9) in Längsrichtung der Rippe (9) ändert.
5. Turbinenschaufel nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
acht Rippen (9) in dem hohlen Innenraum des Schaufelblattes (1) angeordnet sind und sich bei sechs oder sieben Rippen (9) die Quererstreckungsrichtung (10) der Rippe (9) in Längsrichtung der Rippe (9) ändert.
6. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich bei zumindest einer Rippe (9) die Quererstreckungsrichtung (10) in Längsrichtung der Rippe (9) kontinuierlich ändert.
7. Turbinenschaufel nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich die Quererstreckungsrichtung (10) in Längsrichtung der Rippe (9) über die gesamte Längsausdehnung der Rippe (9) kontinuierlich ändert.
8. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich die Quererstreckungsrichtung (10) in Längsrichtung der Rippe (9) über wenigstens 25%, insbesondere über wenigstens 50%, bevorzugt über wenigstens 75% der gesamten Längsausdehnung der Rippe ändert.
9. Turbinenschaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei zumindest einer Rippe (9), bevorzugt bei mehreren Rippen (9), der Winkel, welcher zwischen der Quererstreckungsrichtung (10) der Rippe (9) und einer sich in Längsrichtung des Schaufelblatts (1) erstreckenden Referenzebene (12) eingeschlossen wird, in Längsrichtung der Rippe (9) insbesondere kontinuierlich kleiner wird.
10. Turbinenschaufel nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Winkel insbesondere über die gesamte Längserstreckung der Rippe (9) um wenigstens 2° oder um wenigstens 4° oder um wenigstens 10° oder um wenigstens 20° kleiner wird.
11. Turbinenschaufel nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens eine Rippe (9) die Form einer um eine Längsachse schraubenförmig verdrehten länglichen Platte aufweist.
12. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
bei zumindest einer Rippe (9), bevorzugt bei mehreren Rippen (9), der Winkel, welcher zwischen der Quererstreckungsrichtung (10) der Rippe (9) und einer sich in Längsrichtung des Schaufelblatts (1) erstreckenden Referenzebene (12) eingeschlossen wird, in einem unteren Abschnitt der Rippe (9) insbesondere kontinuierlich größer wird und in einem sich an den unteren Abschnitt der Rippe (9) anschließenden mittleren Abschnitt der Rippe (9) insbesondere kontinuierlich kleiner wird und in einem sich an den mittleren Abschnitt der Rippe (9) anschließenden oberen Abschnitt der Rippe (9) insbesondere kontinuierlich

größer wird.

13. Turbinenschaufel nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass

bei zumindest einer Rippe (9),
bevorzugt bei mehreren Rippen (9),
der Winkel, welcher zwischen der Quererstreckungsrichtung (10) der Rippe (9) und einer sich in Längsrichtung des Schaufelblatts (1) erstreckenden Referenzebene (12) eingeschlossen wird, in einem unteren Abschnitt der Rippe (9) konstant ist und in einem sich an den unteren Abschnitt der Rippe (9) anschließenden oberen Abschnitt der Rippe in Längsrichtung der Rippe (9) insbesondere kontinuierlich kleiner wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

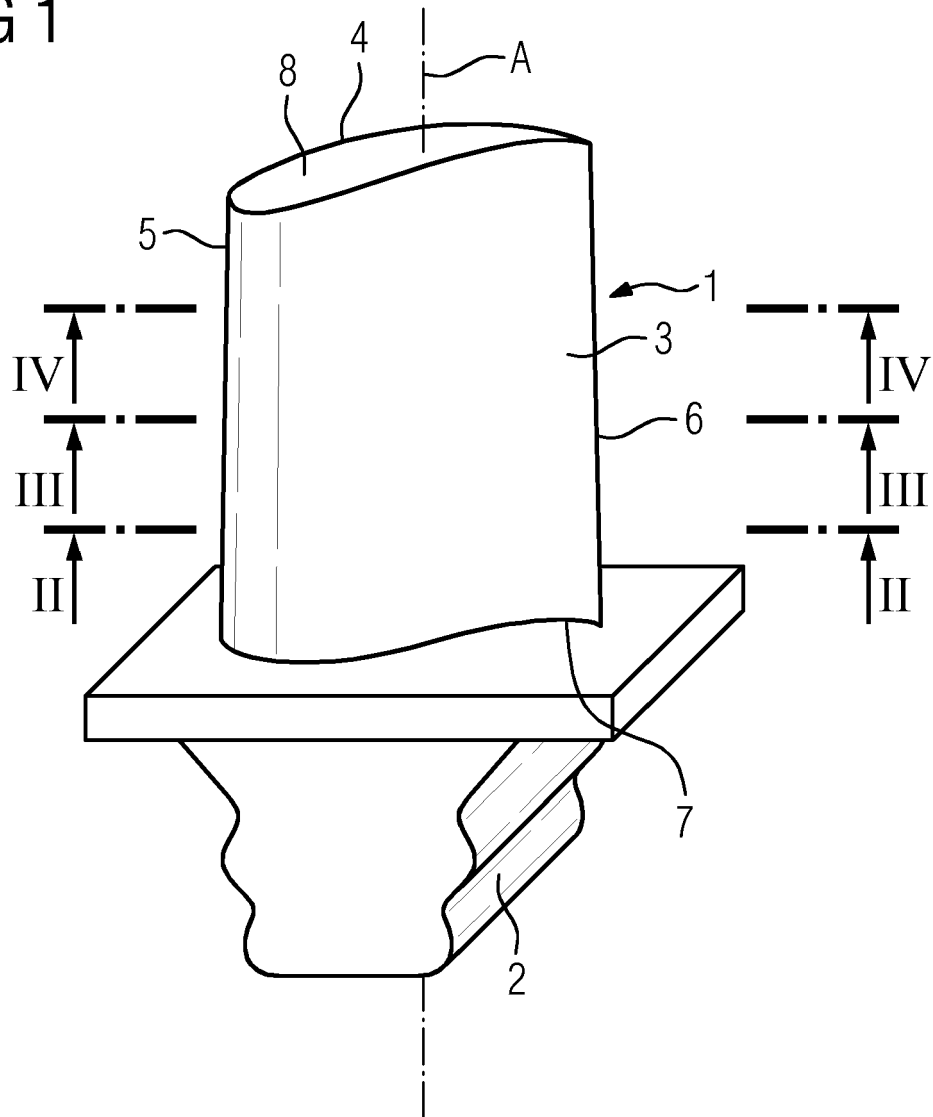


FIG 2

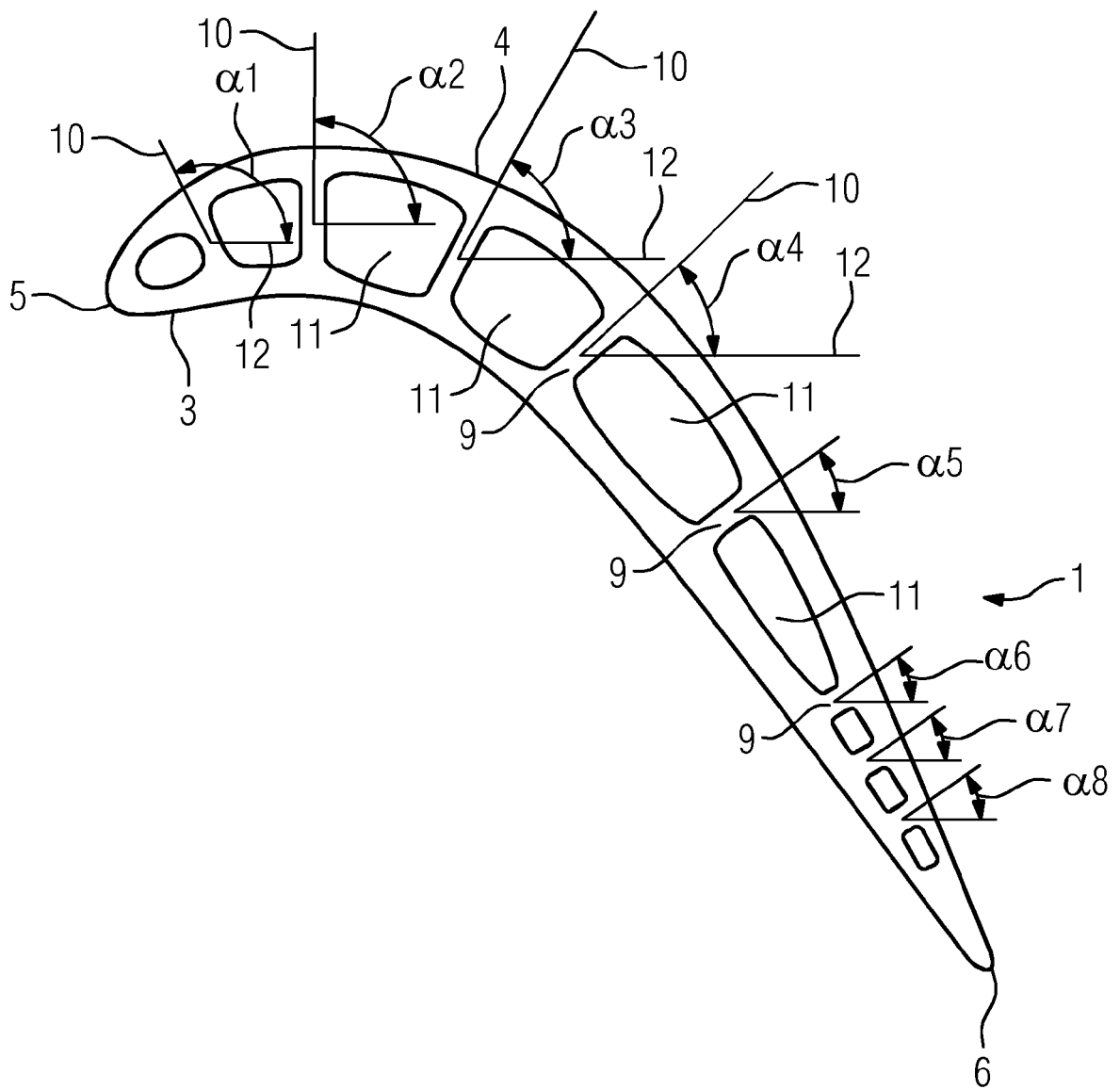


FIG 3

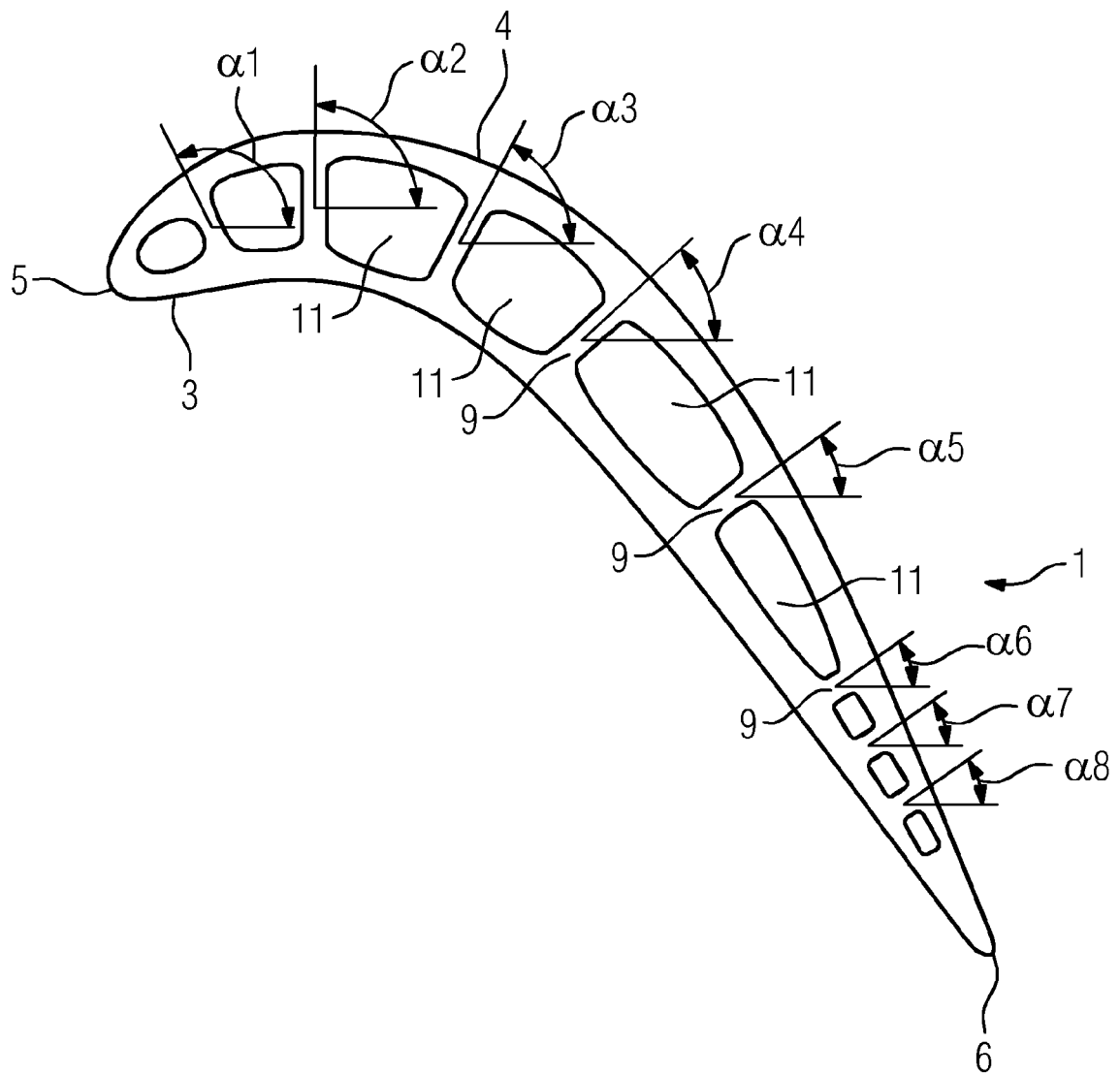


FIG 4

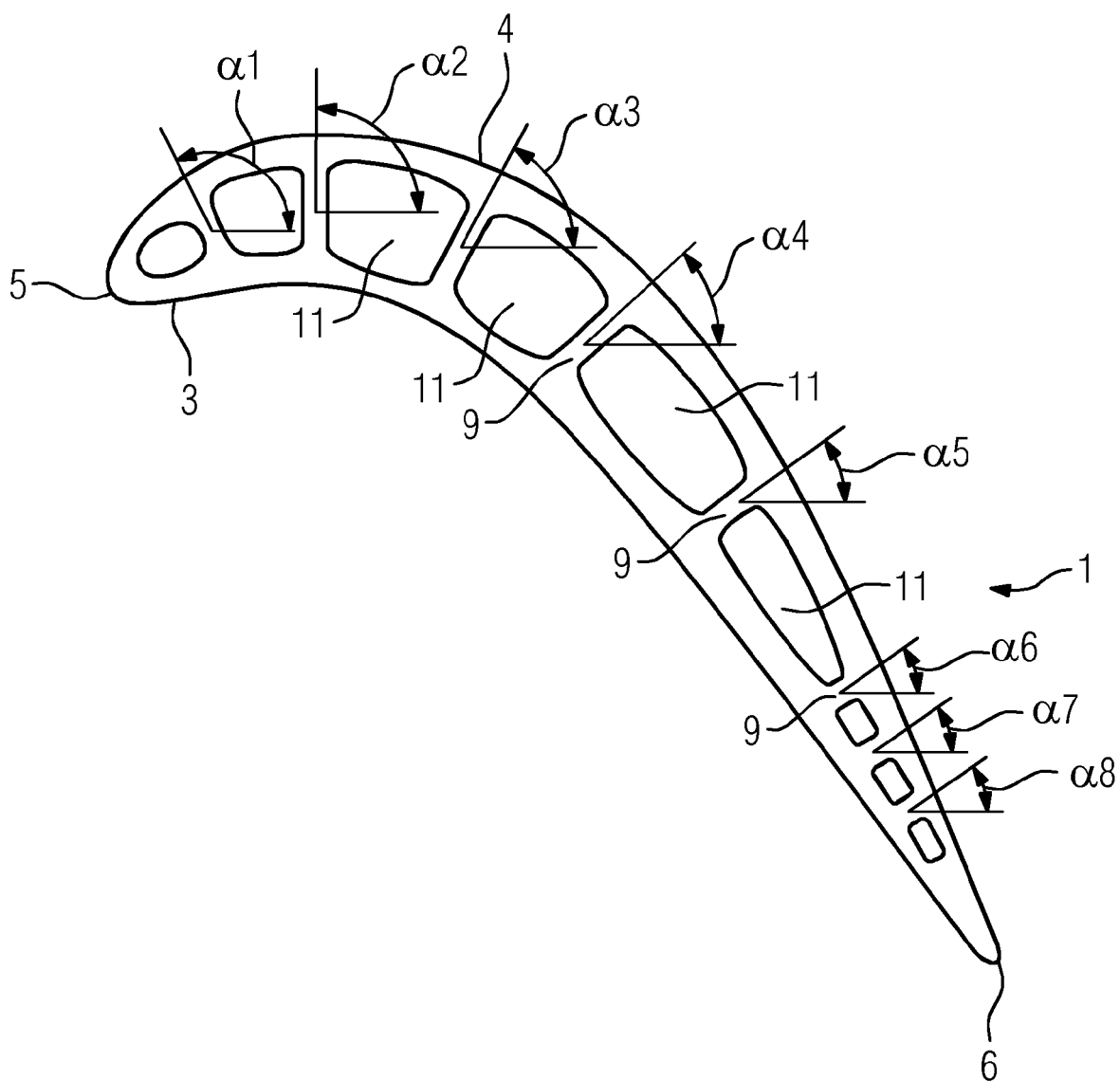


FIG 5

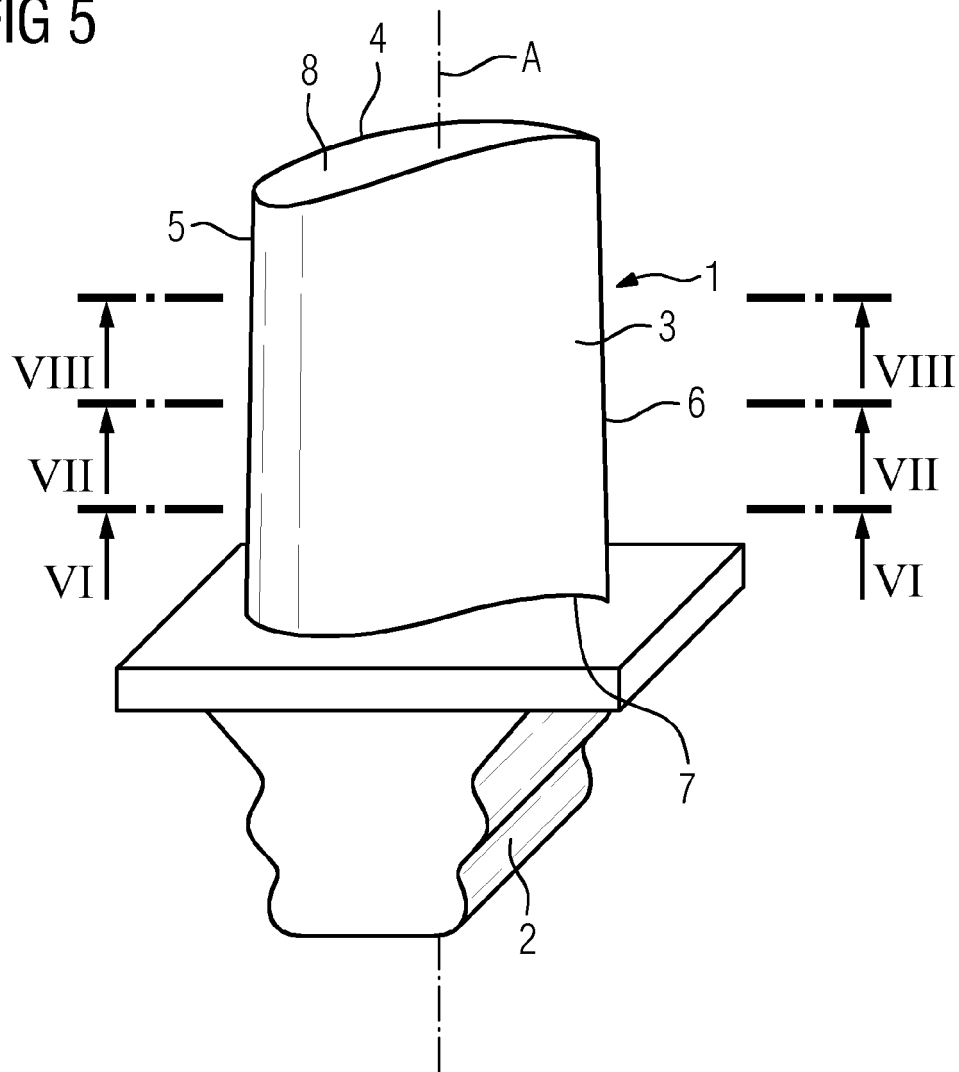


FIG 6

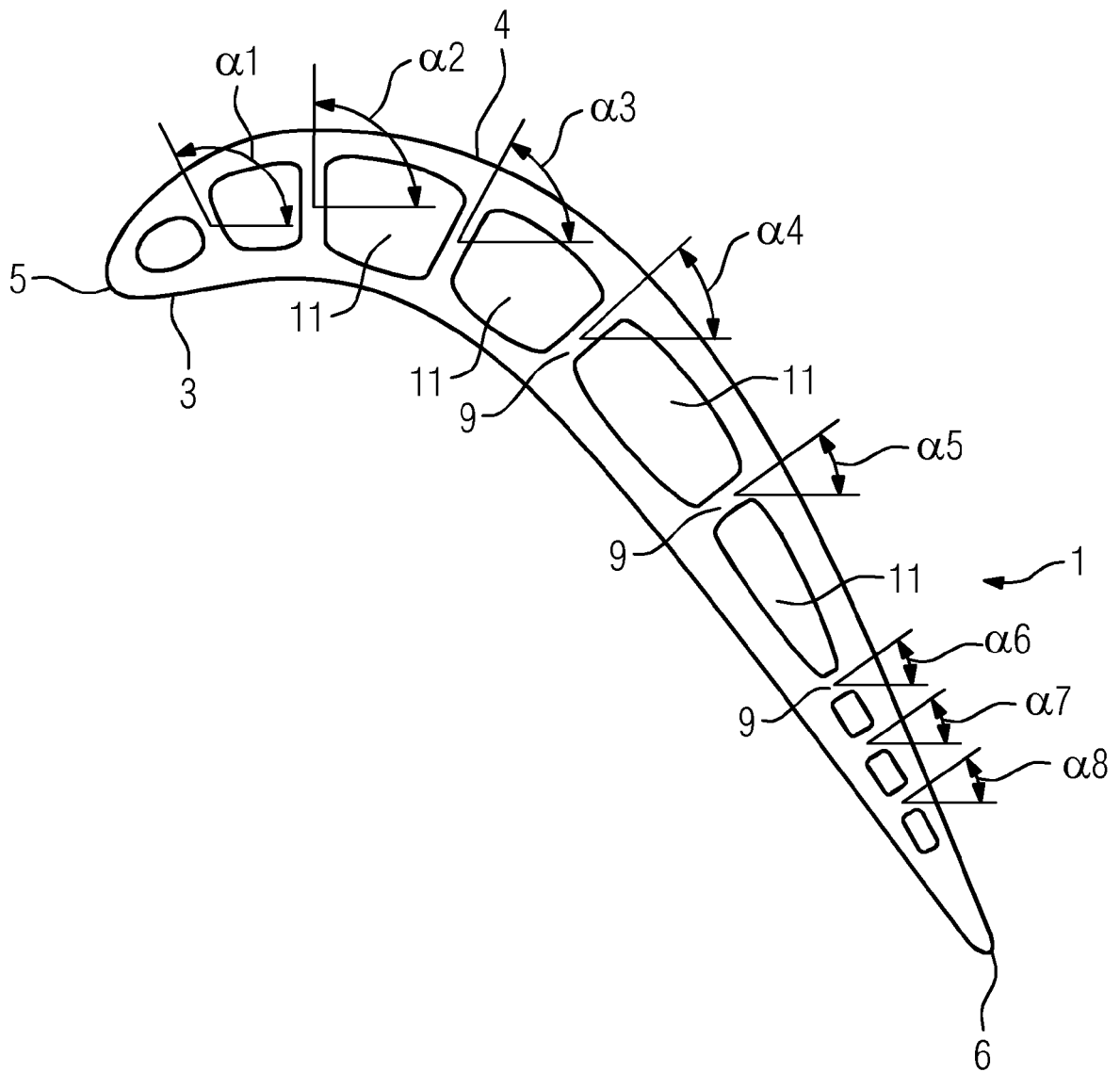


FIG 7

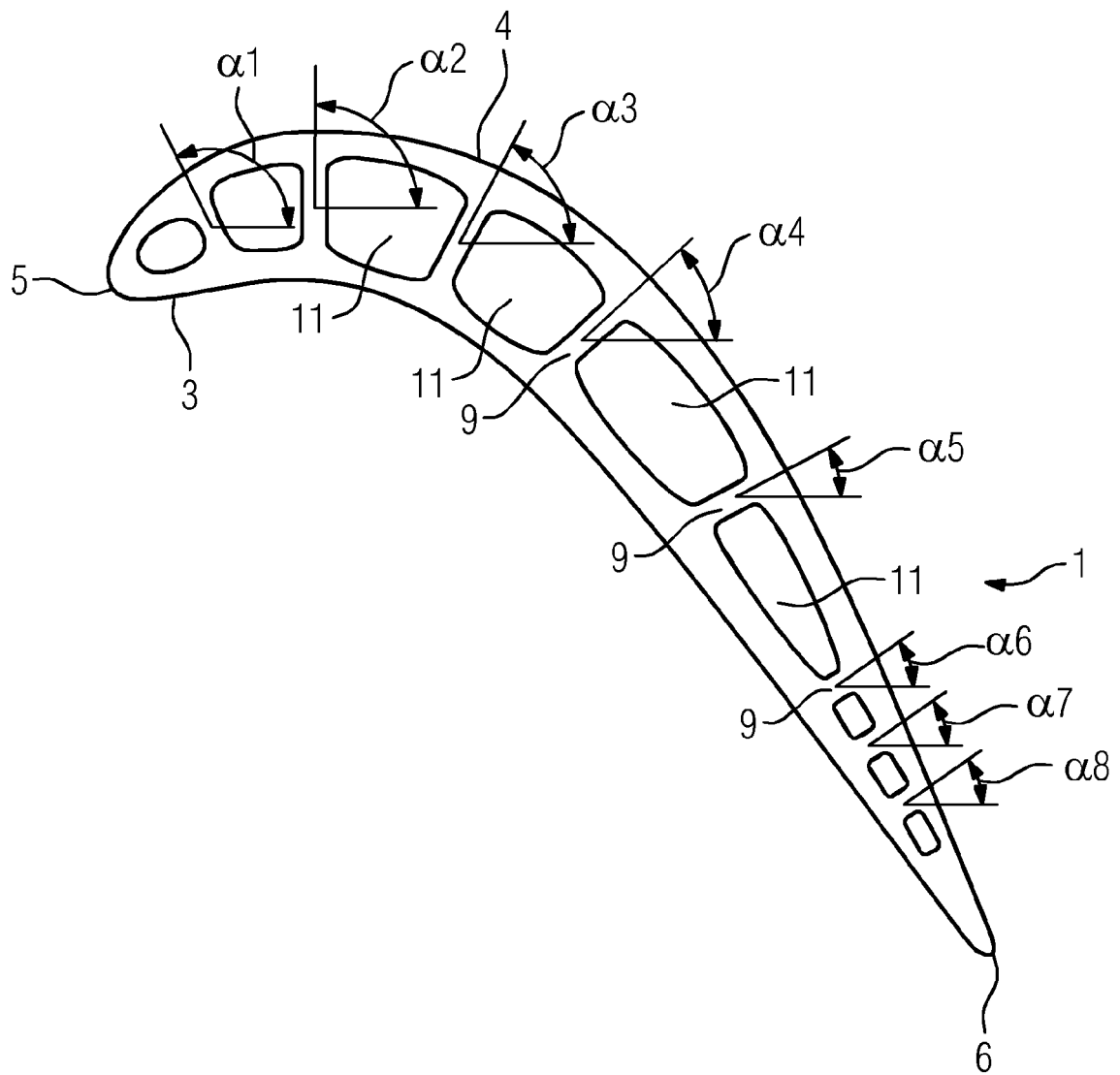
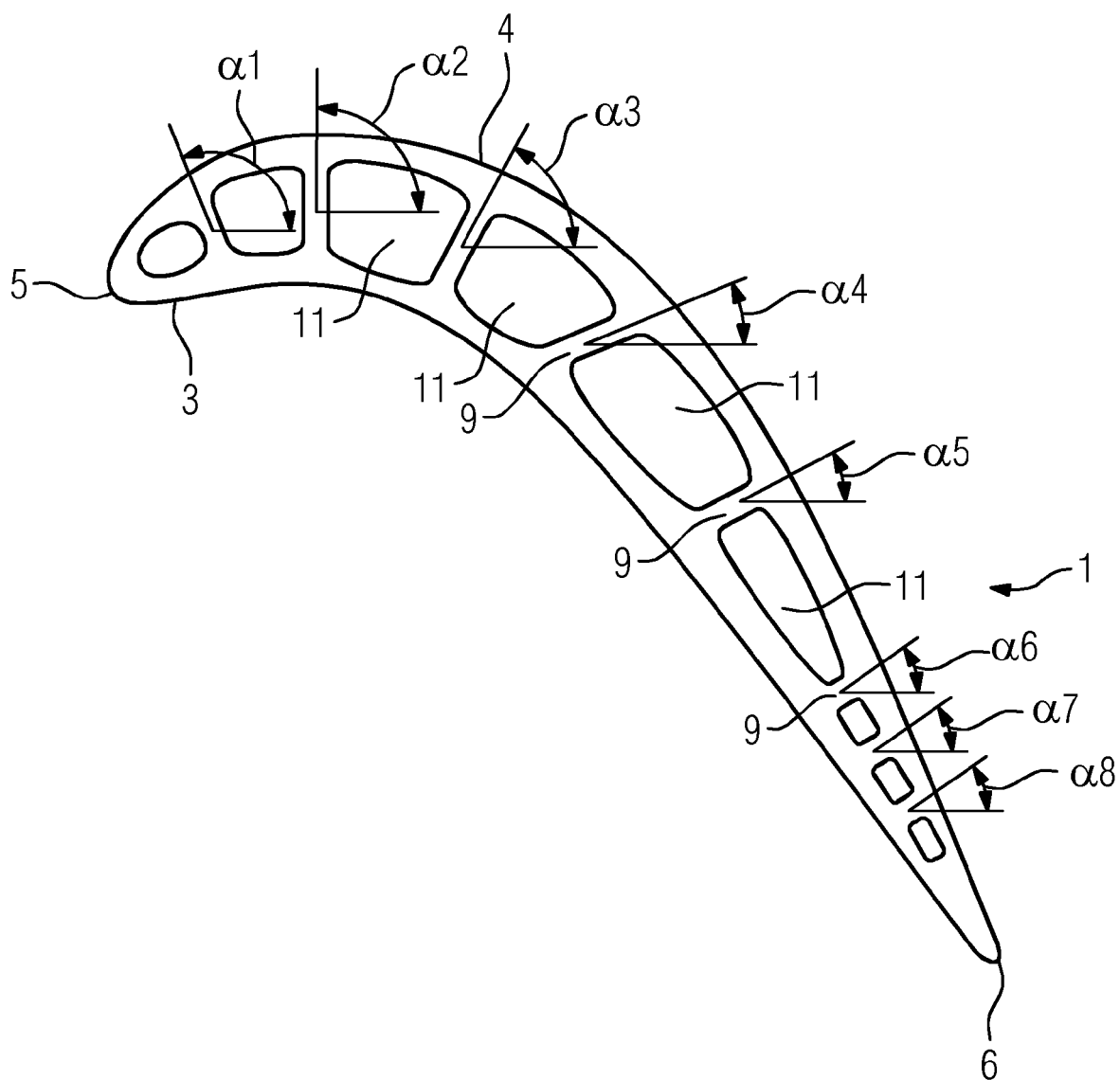


FIG 8





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 15 16 5745

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	GB 2 462 087 A (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 27. Januar 2010 (2010-01-27) * das ganze Dokument *	1-13	INV. F01D5/18 F01D5/14
X	US 2014/219811 A1 (LEE CHING-PANG [US]) 7. August 2014 (2014-08-07) * Absatz [0027]; Ansprüche 1-18; Abbildungen 1-8 *	1-13	
X	EP 0 266 954 A2 (AIRFOIL TEXTRON INC [US]) 11. Mai 1988 (1988-05-11) * Abbildungen 1-7 *	1-10	
X	EP 2 177 715 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]) 21. April 2010 (2010-04-21) * Abbildungen 3A,5,7 *	1-12	
X	US 8 864 438 B1 (LEE CHING-PANG [US] ET AL) 21. Oktober 2014 (2014-10-21) * Spalte 6, Zeile 43 - Spalte 7, Zeile 43; Abbildungen 4,5,10,11 *	1,6-8 10,11	
Y			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
X	US 5 002 460 A (LEE CHING-PANG [US] ET AL) 26. März 1991 (1991-03-26) * Abbildungen 1-3 *	1,2,6-8, 12 10,11	F01D
Y			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 12. Oktober 2015	Prüfer Koch, Rafael
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 15 16 5745

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

12-10-2015

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB 2462087 A	27-01-2010	GB 2462087 A	27-01-2010
		US 2010021308 A1	28-01-2010
US 2014219811 A1	07-08-2014	US 2014219811 A1	07-08-2014
		WO 2014186000 A2	20-11-2014
EP 0266954 A2	11-05-1988	EP 0266954 A2	11-05-1988
		JP H0567763 B2	27-09-1993
		JP S6487803 A	31-03-1989
		US 4815939 A	28-03-1989
EP 2177715 A2	21-04-2010	EP 2177715 A2	21-04-2010
		US 2010098526 A1	22-04-2010
US 8864438 B1	21-10-2014	KEINE	
US 5002460 A	26-03-1991	CA 2021097 A1	03-04-1991
		DE 4028439 A1	11-04-1991
		FR 2652612 A1	05-04-1991
		GB 2238582 A	05-06-1991
		IT 1243040 B	23-05-1994
		JP H03149301 A	25-06-1991
		US 5002460 A	26-03-1991

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82