

(19)



(11)

EP 2 789 798 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
15.10.2014 Patentblatt 2014/42

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

(21) Anmeldenummer: **14162553.3**

(22) Anmeldetag: **31.03.2014**

(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

(71) Anmelder: **MTU Aero Engines AG**
80995 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Ramm, Günter**
82223 Eichenau (DE)
• **Lang, Christine**
85232 Bergkirchen (DE)

(30) Priorität: **09.04.2013 DE 102013206207**

(54) **Schaufelblatt für eine Strömungsmaschine mit Hinterkantenprofilierung, Schaufel und integral beschauelter Rotor**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Schaufelblatt für eine Strömungsmaschine (100) mit einer Saugseite (5), einer Druckseite (7) und einer Schaufelhinterkante (200), wobei das Schaufelblatt (100) im Bereich der Schaufelhinterkante (200) zumindest abschnittswei-

se ein Profil (9) aufweist, welches sich über die Saugseite (5) und die Druckseite (7) der Schaufelhinterkante (200) erstreckt. Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung eine Schaufel sowie einen integral beschauelten Rotor.

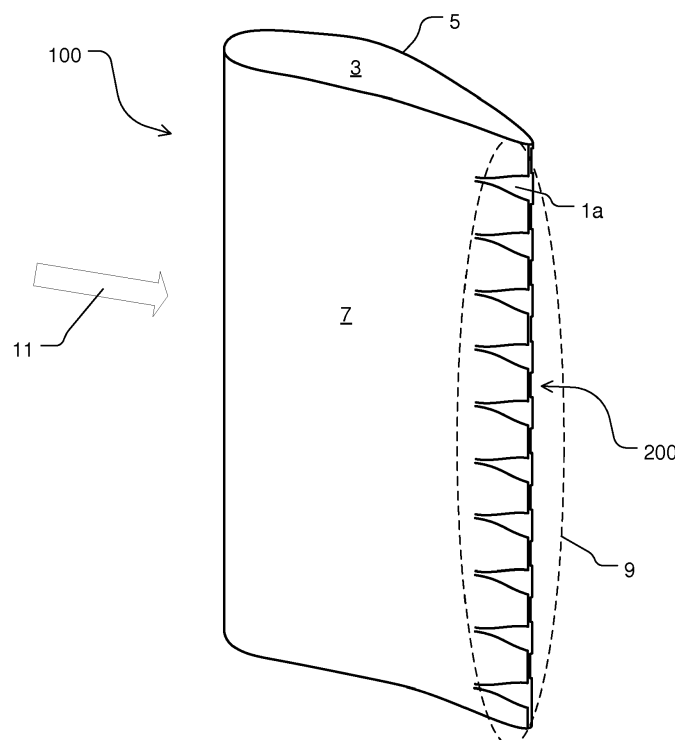


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Schaufelblatt für eine Strömungsmaschine, insbesondere eine Gasturbinenschaufel, mit einer Saugseite, einer Druckseite und einer Schaufelhinterkante gemäß Anspruch 1. Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung eine Schaufel gemäß Anspruch 14 sowie einen integral beschaukelten Rotor gemäß Anspruch 15.

[0002] Aus der Praxis sind Schaufelblätter für Strömungsmaschinen oder Turbinenschaufeln mit unterschiedlichen Schaufelhinterkantegeometrien bekannt, um beispielsweise eine Lärmreduzierung und/oder einen höheren Wirkungsgrad zu erzielen.

[0003] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein weiteres Schaufelblatt für Strömungsmaschinen mit einer zumindest in einem Abschnitt profilierten Schaufelhinterkante vorzuschlagen. Ferner ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Schaufel sowie einen integral beschaukelten Rotor vorzuschlagen.

[0004] Die erfindungsgemäße Aufgabe kann durch ein Schaufelblatt mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst werden. Sie kann ferner durch eine Schaufel mit den Merkmalen des Anspruchs 14 sowie einen integral beschaukelten Rotor mit den Merkmalen des Anspruchs 15 gelöst werden.

[0005] Erfindungsgemäß wird somit ein Schaufelblatt vorgeschlagen, welches im Bereich der Schaufelhinterkante zumindest abschnittsweise ein Profil aufweist, welches sich über die Saugseite und die Druckseite der Schaufelhinterkante erstreckt. Ein derartiges Schaufelblatt kann als Leitschaufel und/oder als Laufschaufel in Strömungsmaschinen und/oder Turbinen und/oder Blisks (Abkürzung für "Blade Integrated Disk") und/oder Blings (Abkürzung für "Bladed Ring") eingesetzt werden und entsprechend ausgestaltet sein.

[0006] Bei allen vorstehenden und folgenden Ausführungen ist der Gebrauch des Ausdrucks "kann sein" bzw. "kann haben" usw. synonym zu "ist vorzugsweise" bzw. "hat vorzugsweise" usw. zu verstehen und soll erfindungsgemäße Ausführungsformen erläutern.

[0007] Vorteilhafte Weiterentwicklungen der vorliegenden Erfindung sind jeweils Gegenstand von Unteransprüchen und Ausführungsformen.

[0008] Erfindungsgemäße Ausführungsformen können eines oder mehrere der im Folgenden genannten Merkmale aufweisen.

[0009] Der Begriff "Profil", wie er hierin verwendet wird, bezeichnet eine Struktur oder eine geometrische Form, welche sich sowohl über Abschnitte der Saugseite als auch über Abschnitte der Druckseite im Bereich der Schaufelhinterkante erstreckt. Ein "Profil" erstreckt sich erfindungsgemäß somit sowohl auf die Saugseite als auch auf die Druckseite. Dabei können unterschiedlich ausgestaltete Profiltellbereiche auf der Saugseite und auf der Druckseite vorgesehen sein. Auf der Saugseite kann in bestimmten erfindungsgemäßen Ausführungsformen der Profiltellbereich beispielsweise strukturierte Oberflächenrauigkeiten oder Oberflächenvertiefungen aufweisen und auf der Druckseite können beispielsweise Kanten, Wölbungen oder Stufen angeordnet sein, oder umgekehrt.

[0010] Ein Profil kann Strukturen oder Formen aufweisen, um bestimmte funktionelle Merkmale zu erzeugen, etwa um eine Umströmung der Schaufelhinterkante gezielt zu beeinflussen. Beispielsweise kann eine Strömungsabrisskante mittels des Profils erreicht werden.

[0011] In einigen erfindungsgemäßen Ausführungsformen breitet sich stromab der Strömungsabrisskante wenigstens ein sogenanntes Totwassergebiet aus, welches lokal begrenzt sein kann. Dieses Totwassergebiet bildet sich aufgrund der durch die Strömungsabrisskante bedingte Querschnittserweiterung. Die Strömung bzw. deren beispielsweise laminares oder turbulentes Strömungsprofil kann dieser un stetigen Querschnittserweiterung nicht folgen. Daher entsteht neben dem sich fortsetzenden (laminaren oder turbulenten) Strömungsprofil ein weiteres Strömungsgebiet, welches als Totwassergebiet bezeichnet werden kann. In diesem Totwassergebiet können in sich geschlossene Wirbel ausgebildet sein oder ausgebildet werden.

[0012] Ein Totwassergebiet stromab einer Strömungsabrisskante kann als "Nachlaufdele" bezeichnet werden.

[0013] In manchen erfindungsgemäßen Ausführungsformen bildet sich mittels des Profils eine sogenannte "Kármánsche Wirbelstraße". Als "Kármánsche Wirbelstraße" wird ein Phänomen in der Strömungsmechanik bezeichnet, bei der sich hinter einem umströmten Körper gegenläufige Wirbel ausbilden.

[0014] In gewissen erfindungsgemäßen Ausführungsformen wird eine bereits ausgebildete "Kármánsche Wirbelstraße" mittels des erfindungsgemäßen Profils gezielt beeinflusst. Beispielsweise kann die Frequenz von Wirbelablösungen in der "Kármánschen Wirbelstraße" verändert werden.

[0015] Wenn im Folgenden Längswirbel oder Nachlaufwirbel oder andere Wirbelbildungen stromab des Profils beschrieben werden, sind damit auch mögliche Strömungsablösungen und/oder nachfolgende Totwassergebiete zu verstehen.

[0016] Profile an der Schaufelhinterkante können mittels verschiedener Fertigungsverfahren hergestellt werden, beispielsweise durch Urformen (z. B. Gießen), Umformen (z. B. Schmieden, Eindrücken, Walzen, Falten, Tiefziehen) oder Trennen (z. B. Fräsen, Bohren), usw.

[0017] In bestimmten beispielhaften erfindungsgemäßen Ausführungsformen werden Profile, nachdem sie mittels

eines der beschriebenen Fertigungsverfahren gefertigt wurden, nachbearbeitet, z. B. mittels Schleifen, Polieren, Glätten, usw.

[0018] In einigen erfindungsgemäßen Ausführungsformen ist das Profil des Schaufelblatts zum Verkürzen von Nachlaufwirbeln, welche sich in Strömungsrichtung an oder hinter der Schaufelhinterkante bilden, ausgebildet. In der Praxis können sich an den Hinterkanten von umströmten Schaufelblättern Wirbel, insbesondere Längswirbel bilden. Eine Verkürzung dieser Längswirbel in Strömungsrichtung durch erfindungsgemäße Profile im Bereich der Schaufelhinterkanten kann vorteilhaft dazu führen, eine Lärmverminderung und/oder eine Widerstandsreduktion des erfindungsgemäßen Schaufelblatts zu bewirken.

[0019] In gewissen erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist die Schaufelhinterkante des Schaufelblatts zumindest in Abschnitten hierzu eine unterschiedliche Höhe senkrecht zur Strömungsrichtung und/oder senkrecht zur Längsrichtung der Schaufelhinterkante auf. Als Strömungsrichtung wird in dieser Ausführungsform die resultierende Strömungsrichtung stromab der Schaufelhinterkante bezeichnet. Diese resultierende Strömung setzt sich zusammen aus den Strömungen der Saugseite, die auch als Schaufeloberseite, Unterdruckseite oder Sogseite bezeichnet wird, und der Druckseite, die auch als Schaufelunterseite bezeichnet wird.

[0020] Synonym zum Begriff "Höhe" können auch die Begriffe "Dicke", "Materialstärke" oder "Querausdehnung" verwendet werden.

[0021] Die Schaufelhinterkante weist in einigen beispielhaften erfindungsgemäßen Ausführungsformen aufgrund des erfindungsgemäßen Profils eine unterschiedliche Höhe auf. Beispielsweise kann ein Profilbereich auf der Saugseite und/oder auf der Druckseite eine Nut, eine Ausfräsung, ein Materialauftrag (z. B. ein geschweißter oder geklebter Steg) oder ähnliches aufweisen, woraus in diesem Profilbereich und eine kleinere oder größere Höhe resultiert.

[0022] In bestimmten beispielhaften erfindungsgemäßen Ausführungsformen schließt die Schaufelhinterkante des Schaufelblatts mit einem gerade verlaufenden Längsabschnitt des Schaufelblatts ab, oder weist einen gerade verlaufenden Längsabschnitt auf. Mit einem "gerade verlaufenden Längsabschnitt" wird ein Längsabschnitt bezeichnet, der in der Höhe unterschiedlich verlaufen kann, jedoch keine, vorzugsweise wenigstens keine wesentlichen, Einschnitte entgegen der Strömungsrichtung aufweist. Der Begriff "keine wesentlichen Einschnitte" bedeutet, dass der Längsabschnitt beispielsweise keine konstruktiven Einschnitte aufweist, jedoch Fertigungsunebenheiten, Verschleiß, Oberflächenveränderungen, usw. aufweisen kann. Konstruktive Einschnitte wären beispielsweise gezackte, federnartigen, spaltförmige und ähnliche Einschnitte. Diese verringern die jeweilige Breite des Schaufelblatts im Bereich des Einschnitts. Ein "gerade verlaufender Längsabschnitt" der Schaufelhinterkante kann weiterhin mit den folgenden Begriffen beschrieben werden: durchgehende Kante (mit einer veränderlichen Höhe) oder durchgehende Struktur. Ebenso kann ein "gerade verlaufender Längsabschnitt" dadurch beschrieben werden, dass der Abstand zwischen der Schaufelvorderkante (der Anströmkante des Schaufelblatts) und der Schaufelhinterkante über die Breite des Schaufelblatts im wesentlichen konstant ist. Ebenso oder alternativ kann ein "gerade verlaufender Längsabschnitt" dadurch beschrieben werden, dass im betrachteten Abschnitt der Schaufelhinterkante alle Punkte, welche beispielsweise 3 cm vor (stromauf) der Schaufelhinterkante auf der Saugseite liegen, auf einer Geraden liegen.

[0023] In einigen beispielhaften erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist das Profil an der Schaufelhinterkante des Schaufelblatts Vertiefungen auf. Diese Vertiefungen sind nicht als Einschnitte der Schaufelhinterkante entgegen der Strömungsrichtung zu verstehen, welche die Breite des Schaufelblatts schmälert, sondern als Vertiefungen senkrecht zur Oberfläche der Schaufelhinterkante und damit in der Dicke der Schaufelhinterkante. Vertiefungen können mittels Bohren, Fräsen, Tiefziehen, Laserschneiden, Gießen, usw. gefertigt werden.

[0024] In manchen beispielhaften erfindungsgemäßen Ausführungsformen sind zumindest einige der Vertiefungen des Schaufelblatts zumindest in Abschnitten hiervon keilförmig ausgebildet. Die keilförmigen Vertiefungen können sich entgegen der Strömungsrichtung verjüngen.

[0025] In gewissen beispielhaften erfindungsgemäßen Ausführungsformen weisen die keilförmigen Vertiefungen eine wenigstens abschnittsweise kontinuierliche Verjüngung entgegen der Strömungsrichtung auf. Als kontinuierliche Verjüngung ist eine Verjüngung zu verstehen, deren seitliche Begrenzung gerade verläuft (siehe Fig. 5).

[0026] In bestimmten erfindungsgemäßen Ausführungsformen weisen die keilförmigen Vertiefungen eine wenigstens abschnittsweise nicht-kontinuierliche Verjüngung entgegen der Strömungsrichtung auf. Als nicht-kontinuierliche Verjüngung ist eine Verjüngung zu verstehen, deren Begrenzung kurvenförmig, nicht aber gerade, verläuft. Eine Ausführungsform einer nicht-kontinuierlichen Verjüngung ist in Fig. 6 dargestellt.

[0027] In manchen erfindungsgemäßen Ausführungsformen verjüngen sich die keilförmigen Vertiefungen entgegen der Strömungsrichtung derart, dass die begrenzenden Seitenflächen der Verjüngung nicht zusammengeführt werden oder anders ausgedrückt nicht zusammenlaufen. Vielmehr bleibt eine Öffnung als Strömungseintritt in die keilförmige Vertiefung bestehen. Somit kann ein Teil der Umströmung auf der Saugseite und/oder auf der Druckseite in die keilförmigen Vertiefungen einströmen (siehe Figur 7 als Ausführungsbeispiel).

[0028] In gewissen erfindungsgemäßen Ausführungsformen ist der Übergang von der Oberfläche der Saugseite und/oder der Druckseite in die keilförmige Verjüngung stetig, das heisst ohne Kanten. Die Oberflächen einerseits von der Saugseite und/oder der Druckseite und andererseits von der keilförmigen Vertiefung (deren Grundfläche) gehen

stufenlos ineinander über.

[0029] In einigen erfindungsgemäßen Ausführungsformen sind die Vertiefungen, die keilförmig, kanalförmig oder eine andere Form aufweisen können, an der Saugseite versetzt gegenüber den Vertiefungen an der Druckseite angeordnet. Die Versetzungen sind senkrecht zur Strömungsrichtung und/oder parallel zu Schaufelhinterkante, oder entlang der Schaufelhinterkante, angeordnet (siehe Fig. 4).

[0030] In manchen erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist das Profil wenigstens abschnittsweise kanalförmige Vertiefungen entgegen der Strömungsrichtung auf. Kanalförmige Vertiefungen weisen - vorzugsweise durchgehend oder zumindest abschnittsweise - einen konstanten Querschnitt auf (siehe Fig. 2).

[0031] In bestimmten erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist das Profil wenigstens abschnittsweise kanalförmige Vertiefungen auf. Die kanalförmigen Vertiefungen sind derart angeordnet, dass die Schaufelhinterkante zur Kanallängsachse einen Winkel zwischen 0 und 90° bildet. Bei einem Winkel von 90° verläuft die Kanallängsachse genau entgegen der Strömungsrichtung oder parallel zu dieser. Bei einem Winkel von 0° verläuft die Kanallängsachse parallel zur Schaufelhinterkante. Der Winkel hat vorzugsweise einen Wert zwischen 5° und 85°, insbesondere zwischen 10° und 30°. Ebenso können die verschiedenen kanalförmigen Vertiefungen unterschiedliche Winkel aufweisen. Dies gilt sowohl auf der Saugseite des Schaufelblatts im Bereich der Schaufelhinterkante als auch auf der entsprechenden Druckseite. Weiterhin können auf der Saugseite die Winkel einen bestimmten Wert aufweisen, beispielsweise 90°, auf der Druckseite einen anderen Wert, beispielsweise 20°. Jede andere beliebige Kombination ist ebenfalls möglich.

[0032] In gewissen erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist der Bereich der Schaufelhinterkante wenigstens abschnittsweise eine Lochstruktur auf. Bei dieser sind zumindest einzelne Löcher (oder alle Löcher) der Lochstruktur als Durchgangslöcher zwischen der Saugseite und der Druckseite im Bereich der Schaufelhinterkante ausgebildet. Alle oder manche der Löcher können einen runden Querschnitt, einen ovalen Querschnitt oder jede andere Querschnittsform aufweisen.

[0033] In manchen erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist die Lochstruktur wenigstens zwei Lochreihen auf, wobei die Lochreihen in Strömungsrichtung angeordnet sind und wobei eine Lochreihe wenigstens zwei Löcher aufweist und wenigstens zwei Lochreihen im Bereich der Schaufelhinterkante angeordnet sind.

[0034] Die Lochreihen sind in einigen beispielhaften erfindungsgemäßen Ausführungsformen parallel angeordnet.

[0035] Manche oder alle erfindungsgemäßen Ausführungsformen können einen, mehrere oder alle der oben und/oder im Folgenden genannten Vorteile aufweisen.

[0036] Das erfindungsgemäße Schaufelblatt kann vorteilhaft innerhalb der Leitschaufelgitter einer Niederdruckturbine eingesetzt werden. Durch eine Verkürzung der Längswirbel stromab der Leitschaufelgitter aufgrund einer Verwendung des erfindungsgemäßen Schaufelblatts mit den oben beschriebenen Profilen im Bereich der Schaufelhinterkanten können beispielsweise nachfolgende, stromab gelegene Laufschaufelgitter weniger oder gar nicht beeinflusst. Damit ist zumindest eine reduzierte Geräuschbildung an den nachfolgenden Laufschaufeln möglich, da die verkürzten Längswirbel die nachfolgenden Laufschaufelgitter nicht mehr erreichen. Dies führt insgesamt zu einer vorteilhaften Lärminderung bei der Durchströmung der Turbine.

[0037] Aus strukturmechanischen Gründen ist das erfindungsgemäße Profilieren der Schaufelhinterkante von Leitschaufeln im Vergleich zu Laufschaufeln vorteilhaft günstiger, da die Leitschaufeln nicht den hohen Drehzahlen und damit keiner zusätzlichen dynamischen Belastung ausgesetzt sind. Diese verringerte Belastung der statischen Leitschaufeln führt zu einer geringeren Störanfälligkeit, einer höheren Lebensdauer und letztlich zu einem wirtschaftlicheren Einsatz bei Verwendung des erfindungsgemäßen Schaufelblatts gegenüber herkömmlichen Schaufelblättern.

[0038] Durch den Einsatz des erfindungsgemäßen Schaufelblatts kann der axiale Mindestabstand (in Strömungsrichtung) zwischen den Leitschaufelgittern und/oder den Laufschaufelgittern vorteilhaft verringert werden, da die Nachlaufwirbel verkürzt werden können.

[0039] Damit erfolgt vorteilhaft eine geringere Anregung oder Beeinflussung der nachfolgenden oder benachbarten Schaufeln.

[0040] Weiterhin kann bei einem Einsatz des erfindungsgemäßen Schaufelblatts ein geringerer Verlustbeiwert des Schaufelprofils vorteilhaft erzielt werden und damit die axiale Länge des Schaufelprofils oder die Schaufelanzahl reduziert werden.

[0041] Alternativ oder ergänzend kann bei einem Einsatz des erfindungsgemäßen Schaufelblatts bei unveränderter Länge (Erstreckung der Länge in Strömungsrichtung) des Schaufelprofils oder bei unveränderter Schaufelanzahl der Wirkungsgrad (beispielsweise der hydraulische Wirkungsgrad des Schaufelblatts) gesteigert sein, gemessen an nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen ohne dem erfindungsgemäßen Profil.

[0042] Ein Einsatz des erfindungsgemäßen Schaufelblatts kann daher aufgrund der genannten Vorteile zu einer Gewichtsreduktion des Triebwerks, einer Kostenreduktion, einer Verkürzung des Bauraums der Turbine und/oder zu einer Steigerung des Wirkungsgrads vorteilhaft führen.

[0043] Die vorliegende Erfindung wird im Folgenden anhand der beigefügten Zeichnung, in welcher identische Bezugszeichen gleiche oder ähnliche Bauteile bezeichnen, exemplarisch erläutert. In den zum Teil stark vereinfachten Figuren gilt:

- Fig. 1** zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes Schaufelblatt mit keilförmigen Vertiefungen einer ersten Ausführungsform;
- Fig. 2** zeigt schematisch ein weiteres erfindungsgemäßes Schaufelblatt mit kanalförmigen Vertiefungen einer zweiten Ausführungsform;
- Fig. 3** zeigt schematisch ein weiteres erfindungsgemäßes Schaufelblatt mit einer Lochstruktur einer dritten Ausführungsform;
- Fig. 4a** zeigt schematisch eine Anordnung von keilförmigen Vertiefungen an der Schaufelhinterkante der ersten Ausführungsform mit in einem Querschnitt geraden seitlichen Begrenzungen;
- Fig. 4b** zeigt eine Anordnung von keilförmigen Vertiefungen mit in einem Querschnitt schrägen seitlichen Begrenzungen;
- Fig. 4c** zeigt eine weitere Anordnung von keilförmigen Vertiefungen mit in einem Querschnitt schrägen seitlichen Begrenzungen;
- Fig. 4d** zeigt eine Anordnung von keilförmigen Vertiefungen, die sich sowohl in Strömungsrichtung als auch senkrecht zur Schaufeloberseite und zur Schaufelunterseite ausbreiten;
- Fig. 5** zeigt schematisch die Form einer keilförmigen Vertiefung mit einer kontinuierlichen Verjüngung einer vierten Ausführungsform;
- Fig. 6** zeigt schematisch die Form einer keilförmigen Vertiefung mit einer nicht-kontinuierlichen Verjüngung einer fünften Ausführungsform; und
- Fig. 7** zeigt schematisch keilförmige Vertiefungen an der Schaufelhinterkante mit Wirbelbildungen.

[0044] Fig. 1 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes Schaufelblatt 100 mit einem Schaufelprofil 3, einer Saugseite 5 und einer Druckseite 7. Das Schaufelblatt 100 weist keilförmige Vertiefungen 1 im Bereich einer Schaufelhinterkante 200 auf.

[0045] Im Bereich der Schaufelhinterkante 200 ist ein Profil 9 dargestellt, welches keilförmige Vertiefungen 1 sowohl auf der Saugseite 5 (in Fig. 1 nur angedeutet als Striche) als auch auf der Druckseite 7, jeweils im Bereich der Schaufelhinterkante 200, aufweist. Die keilförmigen Vertiefungen 1 verjüngen sich entgegen der Strömungsrichtung 11.

[0046] Fig. 2 zeigt schematisch ein weiteres erfindungsgemäßes Schaufelblatt 100 mit kanalförmigen Vertiefungen 1b im Bereich der Schaufelhinterkante 200. Die kanalförmigen Vertiefungen 1b weisen eine Kanallängsachse 10 auf und schließen halbkreisförmig ab. Derartige Kanalformen sind beispielsweise mittels eines Fräsers spanabhebend gefertigt.

[0047] Die Vertiefungen können sowohl in (oder entgegen) der Strömungsrichtung ausgeführt sein (Vertiefungen 1b), als auch senkrecht zur Oberfläche und senkrecht zur Strömungsrichtung (in Fig. 2 nicht dargestellt). Die Vertiefungen senkrecht zur Oberfläche können sowohl in (oder entgegen) der Strömungsrichtung als auch senkrecht zur Strömungsrichtung unterschiedlich tief ausgeführt sein. Entsprechend kann beispielsweise eine spanabhebende Fertigung dreidimensional in allen drei Bearbeitungswinkeln (x, y, z-Achse) erfolgen.

[0048] Die kanalförmigen Vertiefungen 1b erstrecken sich über die Druckseite 7 und die Saugseite 5 (in Fig. 2 sind die Vertiefungen der Saugseite 5 nur als Striche an der Schaufelhinterkante 200 angedeutet) und bilden zusammen ein Profil 9 im Bereich der Schaufelhinterkante 200.

[0049] Fig. 3 zeigt schematisch ein weiteres erfindungsgemäßes Schaufelblatt 100 mit einer Lochstruktur 300 im Bereich der Schaufelhinterkante 200. Die einzelnen Löcher dieser Lochstruktur 300 sind rein exemplarisch als Durchgangslöcher ausgeführt, können jedoch auch ganz oder teilweise als Nichtdurchgangslöcher (Bohrungen mit im Einzelnen zu bestimmenden Sacklochtiefen) gefertigt sein. Diese Bohrungen können auf der Saugseite 5 und auf der Druckseite 7 unterschiedlich ausgeführt sein.

[0050] Die Lochstruktur 300 ist in diesem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel als in Strömungsrichtung 11 parallele Lochreihen (hier exemplarisch 5 Löcher pro Lochreihe) ausgeführt, jede andere Anordnung ist ebenfalls möglich und von der Erfindung umfasst.

[0051] Fig. 4a zeigt schematisch eine Anordnung von keilförmigen Vertiefungen 1a an der Schaufelhinterkante 200 in einer Frontalansicht auf die Schaufelhinterkante 200 entgegen der Strömungsrichtung 11 (hier nicht dargestellt) gesehen.

[0052] Die keilförmigen Vertiefungen 1a sind - bezogen auf die Darstellung der Fig. 4a - an der Saugseite 5 (oben) und an der Druckseite 7 (unten) im Bereich der Schaufelhinterkante 200 angeordnet. Damit sind sie oberhalb und unterhalb des durchgehenden Schaufelhinterkantenabschnitts angeordnet.

[0053] Die Lage der keilförmigen Vertiefungen 1a ist auf der Saugseite 5 versetzt gegenüber der Druckseite 7 angeordnet oder umgekehrt auf Druckseite 7 versetzt gegenüber der Saugseite 5. "Versetzt angeordnet" bedeutet, dass die keilförmigen Vertiefungen 1a in Längsrichtung der Schaufelhinterkante 200 nicht an der gleichen Position in Längsrichtung (d. h. in Links-Rechts-Richtung der Fig. 4) angeordnet sind. Diese versetzte Position der keilförmigen Vertiefungen 1a kann regelmäßig sein, z. B. eine keilförmige Vertiefungen 1a auf der Saugseite 5, nachfolgend auf der Druckseite 7, dann wieder auf der Saugseite 5 usw. oder unregelmäßig. Sie kann regelmäßig unregelmäßig oder unregelmäßig unregelmäßig sein.

[0054] Die Breite 13 der keilförmigen Vertiefung 1a an der Schaufelhinterkante 200 kann auf der Saugseite 5 gleich oder unterschiedlich sein. Dies gilt auch für die keilförmigen Vertiefungen 1a auf der Druckseite 7.

[0055] Die Breite 14 der Stege zwischen den keilförmigen Vertiefungen 1a kann ebenfalls auf der Saugseite 5 gleich oder unterschiedlich sein. Dies gilt auch für die Breite 14 der Stege zwischen den keilförmigen Vertiefungen 1a auf der Druckseite 7.

[0056] Die Tiefe 15 der keilförmigen Vertiefung 1a an der Schaufelhinterkante 200 kann ebenfalls auf der Saugseite 5 gleich oder unterschiedlich sein. Dies gilt auch für die keilförmigen Vertiefungen 1a auf der Druckseite 7. Die Tiefe 15 kann im Verlauf des Profils 9 (siehe Fig. 5 und 6) gleich oder unterschiedlich sein, z. B. kann die Tiefe 15 direkt an der Schaufelhinterkante 200 größer sein und im Verlauf auf der Saugseite 5 und/oder im Verlauf auf der Druckseite 7 kleiner werden oder umgekehrt, also zunächst kleiner an der Schaufelhinterkante 200 und dann im Verlauf größer werdend.

[0057] Die Höhe 17 der Schaufelhinterkante 200 gibt die minimale Querausdehnung oder Dicke der durchgehenden Schaufelhinterkante 200 an. D. h. das Bezugsmaß für die Höhe 15 ist die Gesamthöhe der Schaufelhinterkante 200 abzüglich der Tiefe 15 der keilförmigen Vertiefungen 1a auf der Saugseite 5 und der Druckseite 7. Die Höhe 17 kann ein wichtiges Maß für die mechanische und dynamische Stabilität der Schaufelhinterkante 200 und/oder des gesamten Schaufelblatts 100 sein.

[0058] Was an beliebiger Stelle hierin (d. h. nicht nur in Bezug auf die an dieser Stelle beschriebene Figur) für die Vertiefungen oder Stege einer Geometrie (z. B. keilförmig) gilt, gilt auch für alle anderen möglichen Vertiefungen, Stege oder Vertiefungsformen anderer Geometrien (z. B. kanalförmige Vertiefungen).

[0059] Mögliche Ausführungsformen der genannten Maße sind rein exemplarisch: Breite 13 der Vertiefungen 1a in einem Bereich zwischen 0,5 und 2 mm, vorzugsweise zwischen 0,8 und 1,2 mm, insbesondere 1 mm; Tiefe 15 in einem Bereich zwischen einem zehntel und einem viertel der Höhe 17 (z. B. in einem Bereich zwischen 0,1 und 0,25 mm), insbesondere ein sechstel der Höhe 17 (z. B. 0,2 mm); Höhe 17 in einem Bereich zwischen 0,5 und 2 mm, vorzugsweise zwischen 0,8 und 1,2 mm, insbesondere 1 mm; Breite 14 in einem Bereich zwischen 0,5 und 2 mm, vorzugsweise zwischen 0,8 und 1,2 mm, insbesondere 1 mm.

[0060] Alle Maße können insbesondere von der Schaufelgröße abhängig sein.

[0061] Die seitlichen Begrenzungen der Vertiefungen 1a verlaufen in der hier gezeigten erfindungsgemäßen, beispielhaften Ausführungsform beide (alternativ: nur eine von beiden) gerade. Sie erstrecken sich somit in diesem Beispiel senkrecht zur Oberfläche des Schaufelblatts 100 in dessen Tiefe hinein.

[0062] Weitere mögliche Ausführungsformen des Profils werden in den Fig. 4b, 4c, 4d dargestellt, in welchen die seitlichen Begrenzungen der Vertiefungen 1a verlaufen in den darin gezeigten erfindungsgemäßen, beispielhaften Ausführungsformen beide (alternativ: nur eine von beiden) nicht gerade verlaufen in dem in der Figur jeweils gezeigten Querschnitt durch das Schaufelblatt 100. Sie erstrecken sich somit in diesem Beispiel nicht senkrecht zur Oberfläche des Schaufelblatts 100 in dessen Tiefe hinein. Sie sind, anders als bei der parallel Ausgestaltung der Fig. 4a, nicht parallel zueinander.

[0063] Fig. 4b zeigt Vertiefungen 1a, die an den seitlichen Begrenzungen, bezogen auf die Zeichenebene von Fig. 4b, Abschrägungen mit den Winkeln 16a, 16b aufweisen. Rein exemplarisch mögliche Ausführungsformen der Winkel 16a, 16b liegen zwischen 30 und 60 Grad, vorzugsweise zwischen 40 und 50 Grad, insbesondere 45 Grad.

[0064] Die Winkel 16a und 16b können gleich oder unterschiedlich sein.

[0065] Fig. 4c zeigt Vertiefungen 1a mit seitlichen Abschrägungen mit den weiteren Winkeln 16c, 16d. Rein exemplarisch mögliche Ausführungsformen der Winkel 16c, 16d liegen zwischen 120 und 150 Grad, vorzugsweise zwischen 130 und 140 Grad, insbesondere 135 Grad.

[0066] Die Winkel 16c und 16d können gleich oder unterschiedlich sein.

[0067] Die in Fig. 4c gezeigte Form der Vertiefung 1a mit den beiden Begrenzungsflächen kann auch als "Schwalbenschwanzform" bezeichnet werden, deren Breite am Vertiefungsgrund breiter ist als an der Öffnung der Vertiefung 1a. Konstruktiv wird diese Form auch als Hinterschneidung bezeichnet, beispielsweise in Form eines Trapezoids.

[0068] Fig. 4d zeigt eine Anordnung von keilförmigen Vertiefungen 1a, die sich sowohl in Strömungsrichtung (senkrecht zur Zeichenebene) als auch senkrecht zur Schaufeloberseite 5 und zur Schaufelunterseite 7 ausbreiten.

[0069] Die keilförmige Vertiefungen 1a weisen in der Ausbreitungsrichtung senkrecht zur Schaufeloberseite 5 und zur

Schaufelunterseite 7 die Winkel 18a und 18b auf.

[0070] Rein exemplarisch mögliche Ausführungsformen der Winkel 18a, 18b liegen zwischen 10 und 50 Grad, vorzugsweise zwischen 20 und 40 Grad, insbesondere 30 Grad.

[0071] Die Winkel 18a und 18b können gleich oder unterschiedlich sein.

[0072] Die Ausführungsformen der Fig. 4a, 4b und 4c können fertigungstechnisch vorteilhaft sein, da die Tiefe 15 der keilförmigen Vertiefungen vorgegeben werden kann, womit auch die Höhe 17 der Schaufelhinterkante festgelegt wird. Demgegenüber variiert die Höhe 15 in der Ausführungsform der Fig. 4d mit den Winkeln 18a und 18b, insbesondere verringert sich die Höhe 17 bei zunehmenden Winkeln 18a, 18b. Zudem kann die Stabilität der Schaufelhinterkante 200 bei einer zuvor festgelegten Mindesthöhe 17 in den Ausführungsformen der Fig. 4a, 4b und 4c vorteilhaft sein.

[0073] Weiterhin kann die Stabilität der Schaufelhinterkante 200 insgesamt bei festgelegten Mindesthöhen 17 vorteilhaft sein, insbesondere bei dynamischen und/oder strömungsbedingten Belastungen des Schaufelprofils 3. Zudem kann ein Schaufelhinterkantenprofil 200 der Ausführungsformen 4a bis 4c mit festgelegten Mindesthöhen 17 vorteilhaft sein, da beispielsweise eine spanende Fertigung der Vertiefungen 1a bei geringen Materialstärken (geringe Höhe 17) zumindest einen zusätzlichen Aufwand beim Einspannen des Werkstückes erfordert.

[0074] Fig. 5 zeigt schematisch die Form einer keilförmigen Vertiefung 1a mit einer kontinuierlichen Verjüngung 19 auf der Saugseite 5 und/oder auf der Druckseite 7 im Bereich der Schaufelhinterkante 200 in einer Aufsicht auf die Saugseite 5 oder auf die Druckseite 7.

[0075] Die Länge 21 gibt an, wie weit sich die keilförmige Vertiefung 1a beginnend an der Schaufelhinterkante 200 über die Saugseite 5 und/oder die Druckseite 7 erstreckt.

[0076] Eine rein exemplarisch mögliche Ausführungsformen der Länge 21 beträgt 1,2 mm, alternativ liegt sie in einem Bereich zwischen 0,9 und 1,8 mm.

[0077] Fig. 6 zeigt schematisch die Form einer keilförmigen Vertiefung 1a mit einer nicht-kontinuierlichen Verjüngung 23 auf der Saugseite 5 und/oder auf der Druckseite 7 im Bereich der Schaufelhinterkante 200 in einer Aufsicht von oben (auf die Saugseite 5) oder unten (auf die Druckseite 7) gesehen.

[0078] Die Beschreibung der Länge 21 gilt analog zu Fig. 5.

[0079] Fig. 7 zeigt schematisch keilförmige Vertiefungen 1a an der Schaufelhinterkante 200 mit Wirbelbildungen in perspektivischer Ansicht (oben) und in einer Ansicht von stromab gesehen auf die Schaufelhinterkante 200.

[0080] Die keilförmige Vertiefung 1a wird mittels einer nicht-kontinuierlichen Verjüngung (entgegen der Strömungsrichtung 11 betrachtet; siehe Fig. 6) dargestellt.

[0081] Die Strömungsrichtung 11 umströmt sowohl die Saugseite 5 als auch die Druckseite 7. Beispielsweise strömt ein Teil der Strömung von der Saugseite 5 in die keilförmige Vertiefung 1a. Die Oberfläche der Saugseite geht stufenlos in die keilförmige Vertiefung 1a über. Anders ausgedrückt ist der Übergang der beiden Oberflächen stetig und ohne einer Kante ausgeführt.

[0082] Bei der Durchströmung der keilförmigen Vertiefungen 1a bilden sich an den beiden Seitenwänden der keilförmigen Vertiefungen 1a Wirbel 25 aus. Die Entstehung dieser Wirbel 25 können von der Strömungsgeschwindigkeit und/oder von der Form der Aufweitung der keilförmigen Vertiefung 1a abhängen. Eine sich stärker aufweitende Form kann die Wirbelbildung mehr begünstigen als eine sich schwächer aufweitende Form.

[0083] Aufgrund der paarweise entstehenden Wirbel 25 (jeweils an den beiden Seitenwänden der keilförmigen Verjüngungen 1a) resultiert eine starke Vermischung der gesamten Strömung der Saug- und Druckseite im Bereich der keilförmigen Vertiefungen 1a in dem sich anschließenden Strömungsbereich stromab der Schaufelhinterkante 200. Diese Vermischung wird durch die zusätzlichen Wirbel 27 stromab der Schaufelhinterkante 200 dargestellt. Aufgrund dieser Vermischung werden die Nachlaufwirbel stromab der Schaufelhinterkante 200 verkürzt. Wie bereits in der Beschreibung (weiter oben) diskutiert wurde, sind unter dem Begriff Nachlaufwirbel unter anderem Längswirbel und insbesondere Totwassergebiete zu verstehen.

[0084] Die Verkürzung der Nachlaufwirbel und/oder der Totwassergebiete führt zu den oben beschriebenen erfindungsgemäßen Vorteilen wie beispielsweise einer reduzierten Geräuschbildung und/oder einem erhöhten Wirkungsgrad und/oder einer geringeren Schwingungsanregung weiter stromab gelegener nachfolgender Schaufeln.

Bezugszeichenliste

Bezugszeichen	Beschreibung
100	Schaufelblatt für eine Strömungsmaschine, Turbinenschaufel
200	Schaufelhinterkante
300	Lochstruktur
1a	keilförmige Vertiefung
1b	kanalförmige Vertiefung

(fortgesetzt)

Bezugszeichen	Beschreibung
3	Schaufelprofil
5	Saugseite; Schaufeloberseite
7	Druckseite; Schaufelunterseite
9	Profil im Bereich der Schaufelhinterkante
10	Kanallängsachse
11	Strömungsrichtung
13	Breite der keilförmigen Vertiefung an der Schaufelhinterkante
14	Breite der Stege zwischen den keilförmigen Vertiefungen 1a
15	Tiefe der keilförmigen Vertiefung an der Schaufelhinterkante
16a, 16b, 16c, 16d	Winkel an den seitlichen Begrenzungen (Abschrägungen) der Vertiefungen 1a
17	Höhe der Schaufelhinterkante
18a, 18b	Winkel der keilförmigen Vertiefungen 1a
19	kontinuierliche Verjüngung einer keilförmigen Vertiefung im Bereich der Schaufelhinterkante
21	Länge der keilförmigen Vertiefung an der Schaufelhinterkante
23	nicht-kontinuierliche Verjüngung einer keilförmigen Vertiefung im Bereich der Schaufelhinterkante
25	Wirbel/ Totwassergebiet in der keilförmigen Vertiefung
27	Wirbel/ Totwassergebiet stromab der Schaufelhinterkante

Patentansprüche

- Schaufelblatt (100) für eine Strömungsmaschine mit einer Saugseite (5), einer Druckseite (7) und einer Schaufelhinterkante (200), wobei das Schaufelblatt (100) im Bereich der Schaufelhinterkante (200) zumindest abschnittsweise ein Profil (9) aufweist, welches sich über die Saugseite (5) und die Druckseite (7) der Schaufelhinterkante (200) erstreckt.
- Schaufelblatt (100) nach Anspruch 1, wobei das Profil (9) zum Verkürzen von Nachlaufwirbeln, welche sich in Strömungsrichtung (11) bilden, ausgebildet ist.
- Schaufelblatt (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Schaufelhinterkante (200) zumindest in Abschnitten hiervon eine unterschiedliche Höhe senkrecht zur Strömungsrichtung (11) und senkrecht zur Längsrichtung der Schaufelhinterkante (200) aufweist oder einen solchen aufweist.
- Schaufelblatt (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei die Schaufelhinterkante (200) mit einem gerade verlaufenden Längsabschnitt das Schaufelblatt (100) abschließt.
- Schaufelblatt (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Profil (9) Vertiefungen (1a, 1b) und/oder Erhöhungen aufweist.
- Schaufelblatt (100) nach Anspruch 5, wobei die Vertiefungen (a) keilförmig ausgebildet sind und sich entgegen der Strömungsrichtung (11) verjüngen.
- Schaufelblatt (100) nach Anspruch 6, wobei die keilförmigen Vertiefungen (1a) eine wenigstens abschnittsweise kontinuierliche Verjüngung (19) entgegen der Strömungsrichtung (11) aufweisen.
- Schaufelblatt (100) nach Anspruch 6, wobei die keilförmigen Vertiefungen (1a) eine wenigstens abschnittsweise

nicht-kontinuierliche Verjüngung (23) entgegen der Strömungsrichtung (11) aufweisen.

5 9. Schaufelblatt (100) nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei die Vertiefungen (1a, 1b) an der Saugseite (5) gegenüber den Vertiefungen (1a, 1b) an der Druckseite (7) versetzt angeordnet sind, wobei die Versetzungen senkrecht zur Strömungsrichtung (11) und/oder parallel zur Schaufelhinterkante (200) oder entlang dieser angeordnet sind.

10. Schaufelblatt (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Profil (9) wenigstens abschnittsweise kanalförmige Vertiefungen (1b) entgegen der Strömungsrichtung (11) aufweist.

10 11. Schaufelblatt (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Profil (9) wenigstens abschnittsweise kanalförmige Vertiefungen (1b) aufweist und wobei die kanalförmigen Vertiefungen (1b) derart angeordnet sind, dass die Schaufelhinterkante (200) zur Kanallängsachse (10) einen Winkel zwischen 0 und 90° bildet.

15 12. Schaufelblatt (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Profil (9) wenigstens abschnittsweise eine Lochstruktur (300) aufweist, wobei zumindest einzelne Löcher der Lochstruktur (300) als Durchgangslöcher zwischen der Saugseite (5) und der Druckseite (7) im Bereich der Schaufelhinterkante (200) ausgebildet sind.

20 13. Schaufelblatt (100) nach Anspruch 12, wobei die Lochstruktur (300) wenigstens zwei Lochreihen aufweist, wobei die Lochreihen in Strömungsrichtung (11) angeordnet sind, wobei eine Lochreihe wenigstens zwei Löcher aufweist, und wobei wenigstens zwei, vorzugsweise parallele, Lochreihen im Bereich der Schaufelhinterkante (200) angeordnet sind.

14. Schaufel mit einem Schaufelblatt (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 13.

25 15. Integral beschaufelter Rotor mit wenigstens einem Schaufelblatt (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 oder wenigstens einer Schaufel nach Anspruch 14.

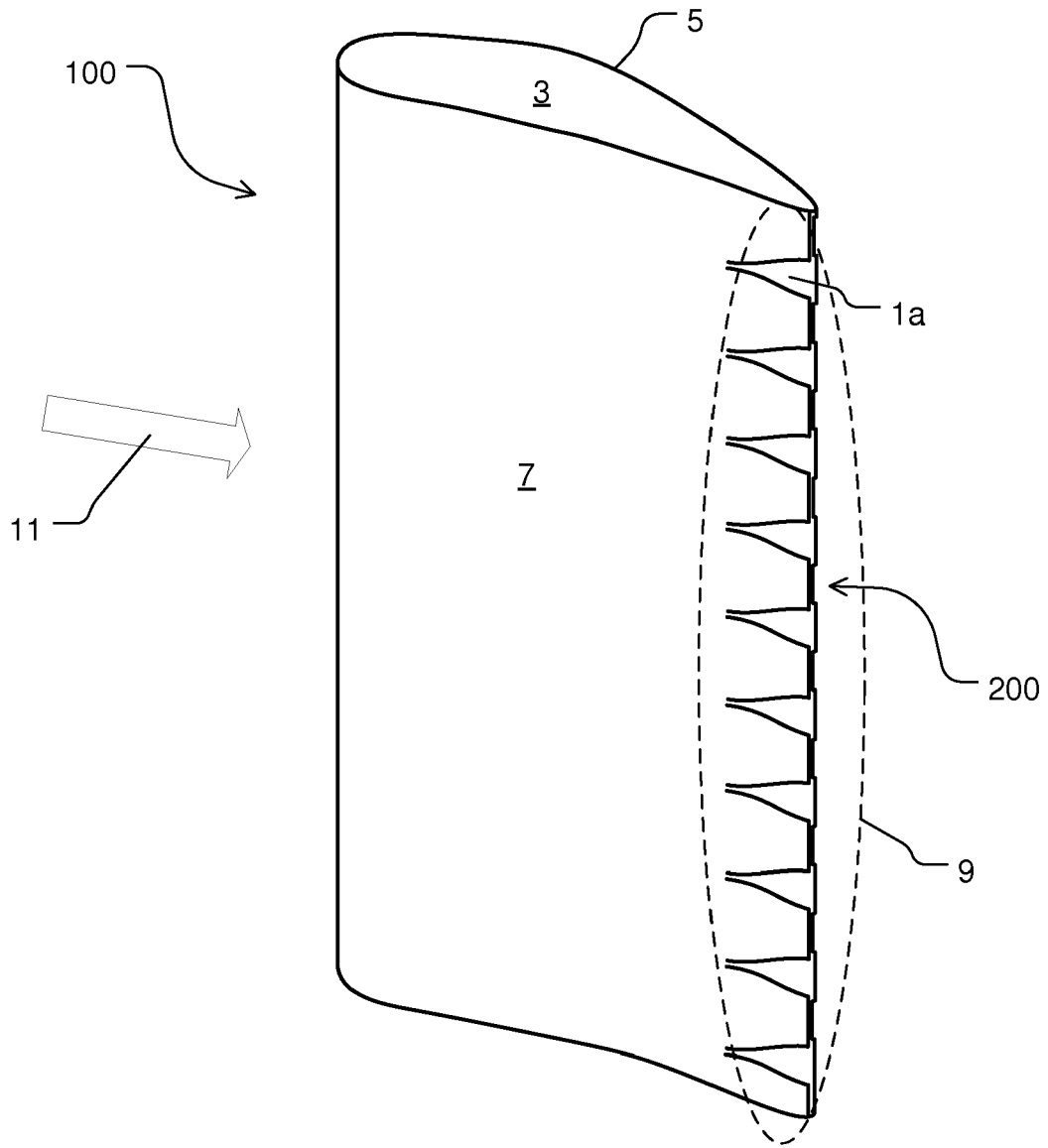


Fig. 1

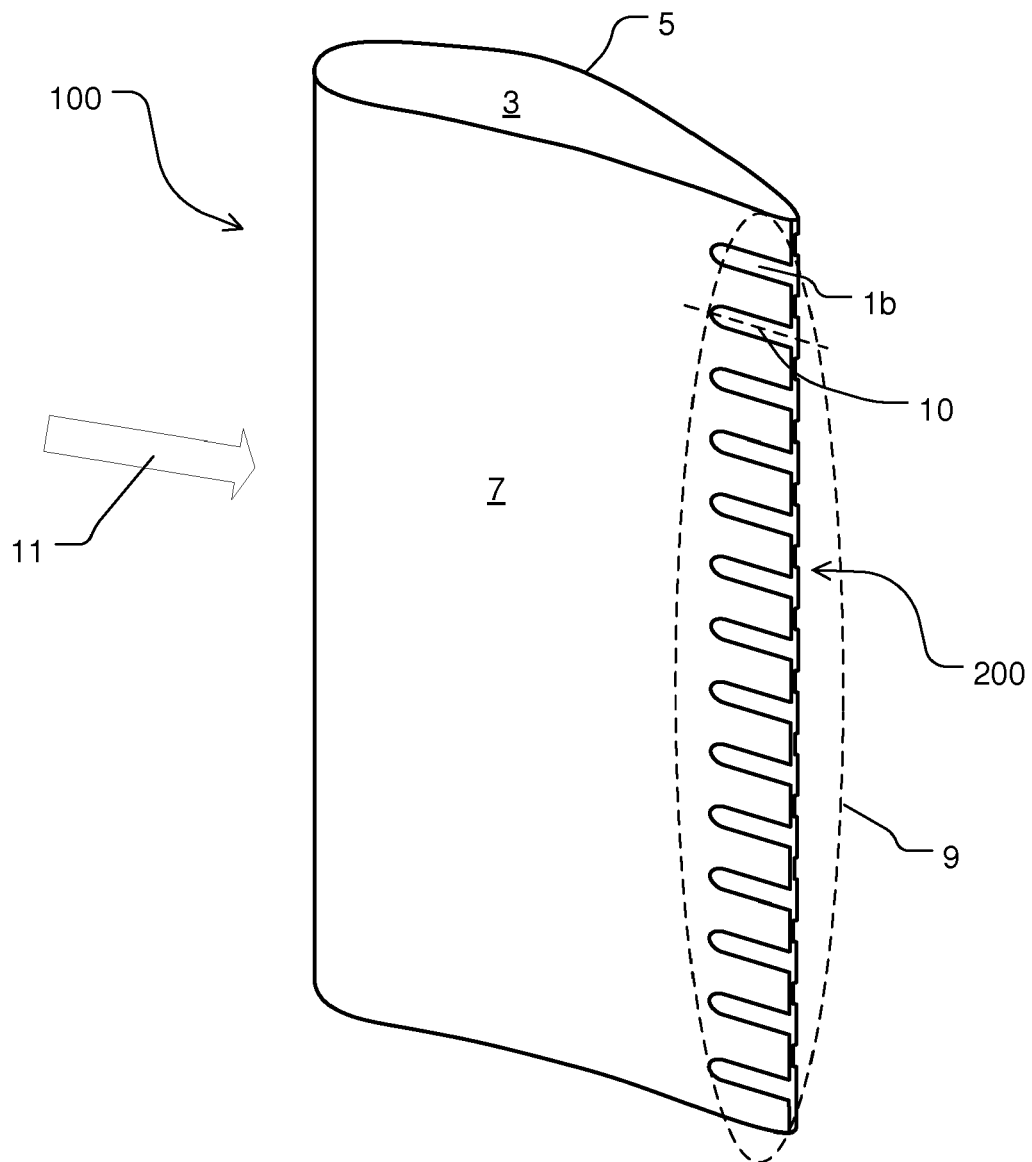


Fig. 2

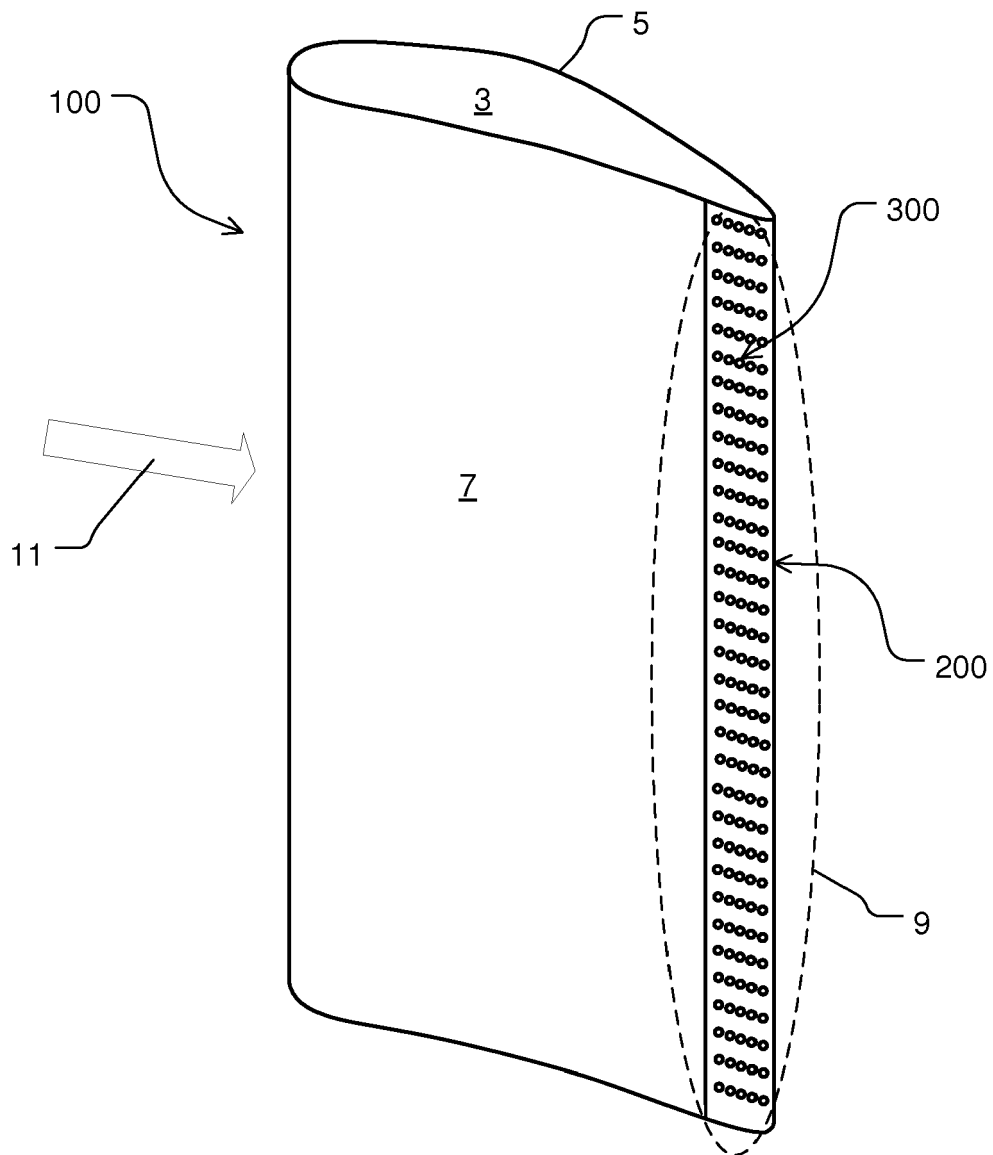
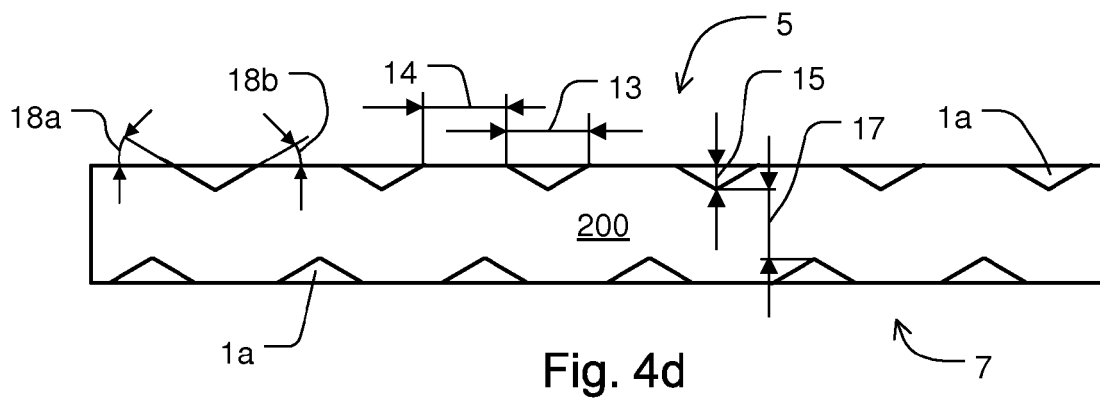
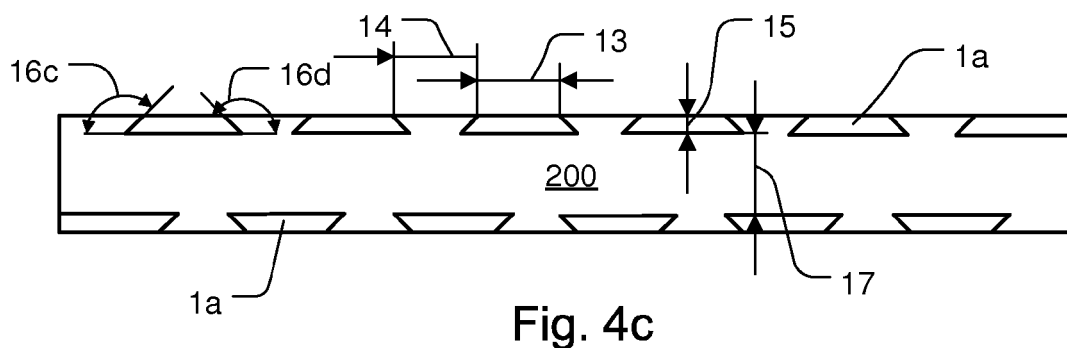
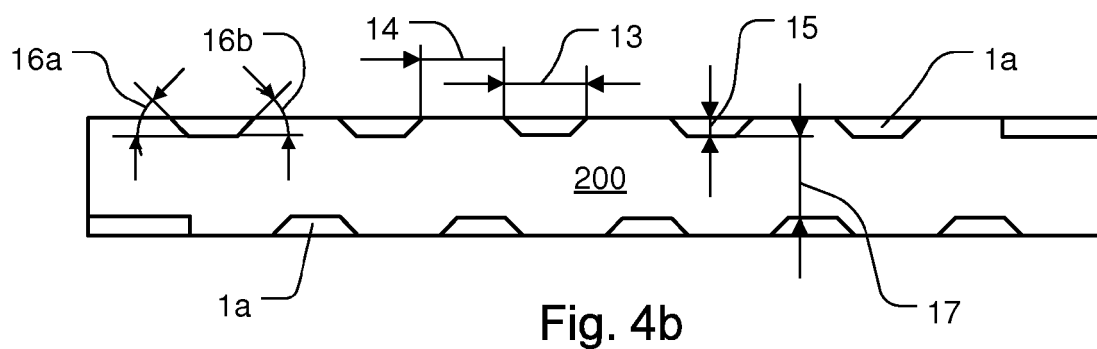
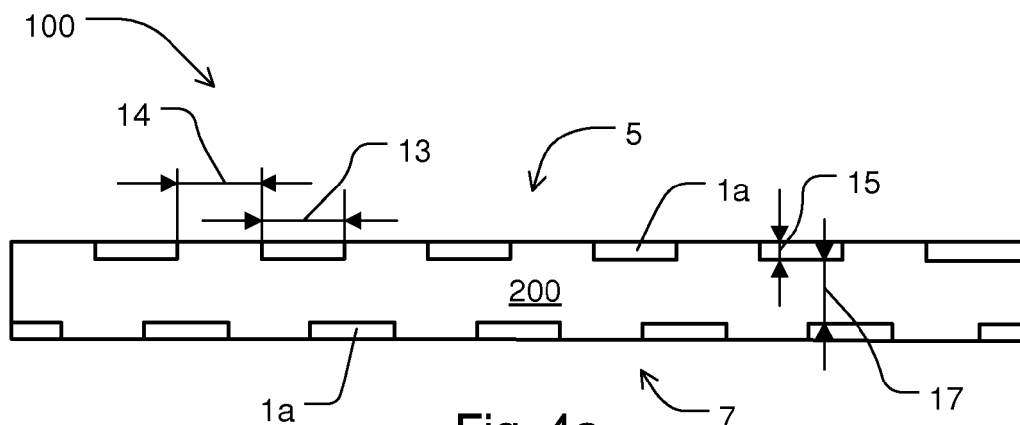


Fig. 3



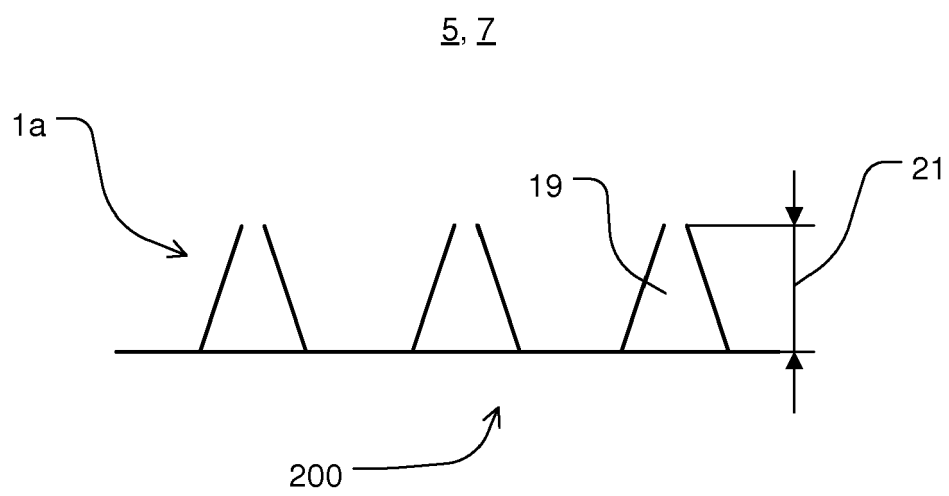


Fig. 5

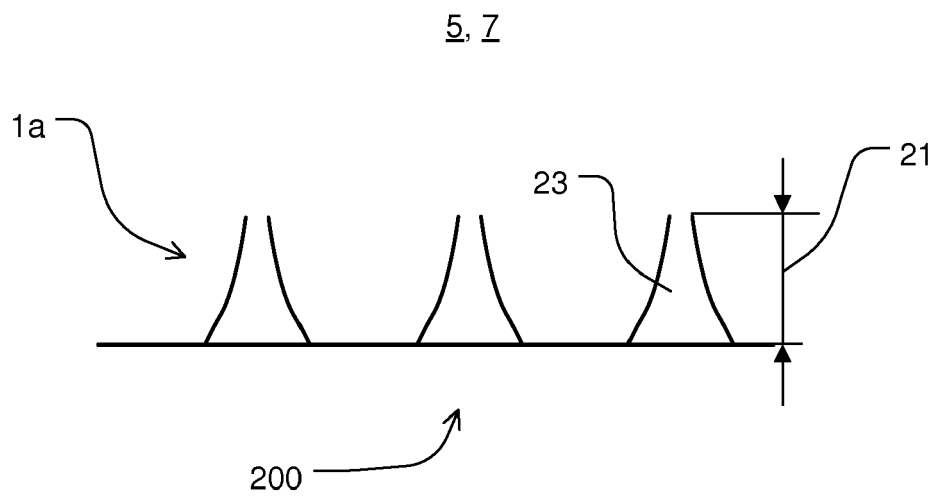


Fig. 6

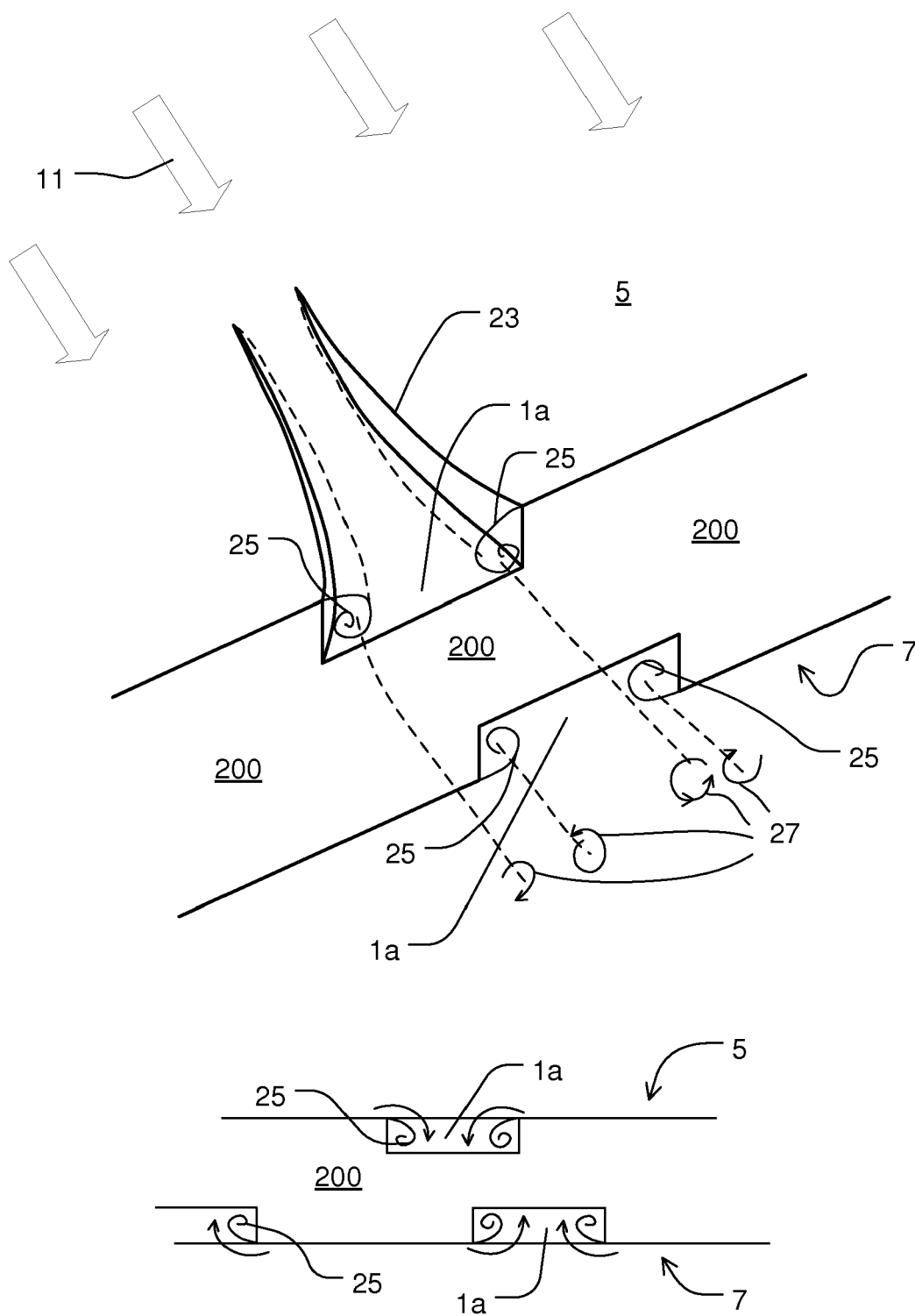


Fig. 7