РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 629 110**(13) **C2**

(51) МПК
F01D 5/14 (2006.01)
F01D 9/02 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2014113852, 14.08.2012**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.08.2012

Дата регистрации:
24.08.2017

Приоритет(ы):
(30) Конвенционный приоритет:
09.09.2011 EP 11180679.0

(43) Дата публикации заявки: **20.10.2015** Бюл. № **29**

(45) Опубликовано: **24.08.2017** Бюл. № **24**

(85) Дата начала рассмотрения заявки PCT на национальной фазе: **09.04.2014**

(86) Заявка PCT:
EP 2012/065842 (14.08.2012)

(87) Публикация заявки PCT:
WO 2013/034402 (14.03.2013)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры"

(72) Автор(ы):
КОРНЕЛИУС Кристиан (DE),
МАТТИАС Торстен (DE)

(73) Патентообладатель(и):
СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 2008/0148564 A1, 26.06.2008. DE 1903642 A, 06.08.1970. US 5642985 A, 01.07.1997. WO 2010/063271 A2, 10.06.2010. US 2003/0012645 A1, 16.01.2003. RU 2384750 C1, 20.03.2010.**

(54) СПОСОБ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗАМЕНЯЮЩЕЙ ЛОПАТКИ В КАЧЕСТВЕ ЗАМЕНЯЮЩЕЙ ЧАСТИ ДЛЯ СТАРОЙ ЛОПАТКИ ДЛЯ ТУРБОМАШИНЫ С ОСЕВЫМ НАПРАВЛЕНИЕМ ПОТОКА

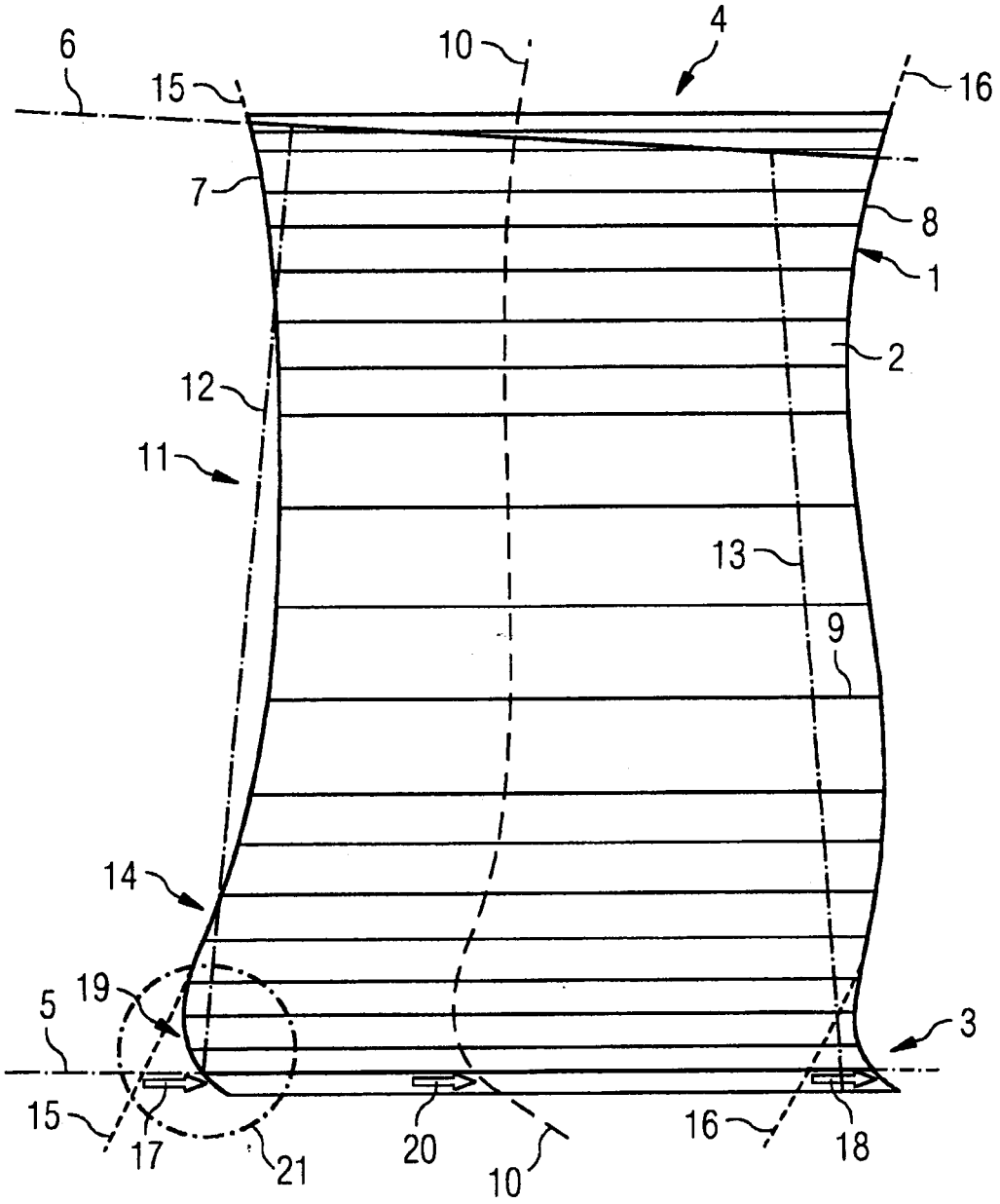
(57) Реферат:

Изобретение относится к способу изготовления заменяющей лопатки для турбомашины. Согласно указанному способу определяют геометрические характеристики контура ступицы и корпуса снабженного старой лопаткой проточного канала, а также осевое положение центра тяжести пера старой лопатки, которая с одной стороны зажата в ступице или в корпусе. Рассчитывают геометрические характеристики пера заменяющей лопатки, таким образом, что перо заменяющей лопатки на своей передней кромке наклоняется в направлении зажатия выше по потоку и обладает прямой стреловидностью. Задают близкую к зажатию область пера заменяющей лопатки, составляющую от 5% до 15% высоты заменяющей лопатки. Смещают участок пера заменяющей лопатки, расположенный за пределами указанной области, выше по потоку, пока осевое положение центра тяжести пера заменяющей лопатки не совпадет с осевым положением центра тяжести пера старой лопатки. В области от расположенной со стороны зажатия линии контура пера заменяющей лопатки до смещенного участка пера заменяющей лопатки переднюю кромку наклоняют в направлении зажатия ниже по потоку для образования в этой области переходной стреловидности. Затем осуществляют профилирование заменяющей лопатки. Другие изобретения группы относятся

RU 2629110 C2

RU 2629110 C2

к лопатке ротора и лопатке статора для газовой турбины, изготовленным указанным выше способом, а также к соответствующей лопатке компрессора. Группа изобретений позволяет повысить аэродинамическую эффективность лопаток турбомашины без повышения нагрузки на элементы крепления указанных лопаток. 5 н. и 2 з.п. ф-лы, 2 ил.



ФИГ.1

RU 2629110 C2

RU 2629110 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 629 110**(13) **C2**

(51) Int. Cl.
F01D 5/14 (2006.01)
F01D 9/02 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2014113852, 14.08.2012**

(24) Effective date for property rights:
14.08.2012

Registration date:
24.08.2017

Priority:
(30) Convention priority:
09.09.2011 EP 11180679.0

(43) Application published: **20.10.2015** Bull. № **29**

(45) Date of publication: **24.08.2017** Bull. № **24**

(85) Commencement of national phase: **09.04.2014**

(86) PCT application:
EP 2012/065842 (14.08.2012)

(87) PCT publication:
WO 2013/034402 (14.03.2013)

Mail address:
129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, stroenie 3, OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):
KORNELIUS Kristian (DE),
MATTIAS Torsten (DE)

(73) Proprietor(s):
SIMENS AKTSIENGEZELLSHAFT (DE)

RU 2629110 C2

RU 2629110 C2

(54) METHOD OF PROFILING A REPLACEMENT SHOOT AS A REPLACEMENT PARTS FOR OLD PULLEY FOR A TURBOMACHINE WITH A TWO-DIRECTION OF THE FLOW

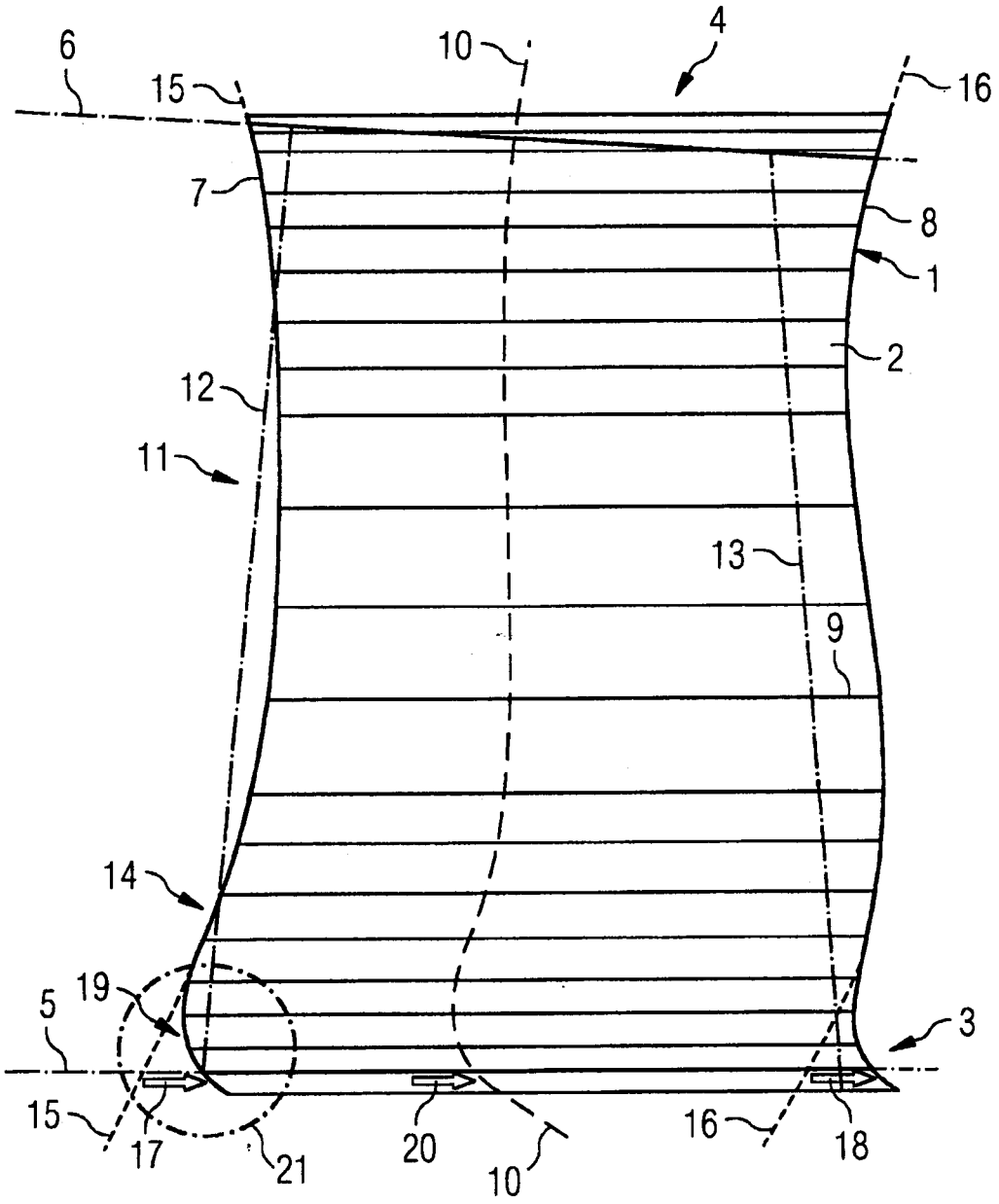
(57) Abstract:

FIELD: machine engineering.

SUBSTANCE: according to the specified method, the geometric characteristics of the hub contour and the body of the flow channel provided with an old blade are determined, as well as the axial position of the center of gravity of the old blade of the blade, which is clamped in one hub in the hub or in the body. The geometric characteristics of the pen of the replacement blade are calculated such that the blade of the replacement blade at its leading edge is tilted in the upstream direction and has a straight sweep. Specifying the area of the pen of the replacement blade close to the clamping, which is 5% to 15% of the height of the replacement blade. The displacing blade portion of the replacement blade is disposed beyond this region, upstream, until the axial position of the center of gravity of the replacement blade is aligned with the axial position of the center of gravity of the old blade feather. In the region from the side of the clamping line of the contour of the pen of the replacement blade to the displaced portion of the feather of the replacement blade, the leading edge is inclined in the downstream direction to form a transitional sweep in this region. The profiling of the replacement blade is then carried out. Other inventions of the group refer to the rotor blade and the stator blade for the gas turbine manufactured in the above manner, as well as to the corresponding compressor blade.

EFFECT: group of inventions makes it possible to increase the aerodynamic efficiency of the turbomachine blades without increasing the load on the fastening elements of the mentioned blades.

7 cl, 2 dwg



ФИГ.1

RU 2629110 C2

RU 2629110 C2

Изобретение касается способа профилирования заменяющей лопатки в качестве заменяющей части для старой лопатки для турбомашины с осевым направлением потока, при этом заменяющая лопатка является лопаткой ротора или лопаткой статора для газовой турбины.

Газовая турбина, в частности нестационарная газовая турбина, традиционно имеет срок эксплуатации, равный примерно 30 годам. В течение этого периода времени до сих пор доводились до рыночной зрелости технические новшества, в частности, для улучшения теплового коэффициента полезного действия газовой турбины. Желательно, чтобы уже смонтированная газовая турбина по меньшей мере частично оснащалась этими техническими новшествами, чтобы тем самым достигать у газовой турбины соответствующего повышения коэффициента полезного действия. Для внедрения технических новшеств в уже смонтированную газовую турбину традиционно предоставляются снабженные техническими новшествами и модернизированные конструктивные элементы, которыми заменяются их более старые аналоги в газовой турбине. Стремятся к тому, чтобы заменять в газовой турбине как можно меньшее количество конструктивных элементов, чтобы по возможности снижать трудоемкость оснащения и соответствующие расходы.

Стационарная газовая турбина для применения в электростанции традиционно выполнена с осевой конструкцией. Компрессор газовой турбины, как правило, имеет несколько ступеней, расположенных в направлении протекания в осевом направлении друг за другом, при этом каждая ступень включает в себя рабочие лопатки, предусмотренные для ротора и образующие венец рабочих лопаток, а также направляющие лопатки, образующие венец направляющих лопаток. Рабочие лопатки вращаются вместе с ротором относительно неподвижных направляющих лопаток, при этом, в частности, гидромеханические коэффициенты полезного действия рабочих лопаток и направляющих лопаток определяют гидромеханический коэффициент полезного действия ступени. Благодаря применению цифровых программ расчета потока при профилировании лопаток в последние годы смогли быть достигнуты значительные улучшения коэффициента полезного действия ступени. Таким образом, желательно, чтобы, в частности, для компрессора газовой турбины существующая система лопаток удалялась и заменялась системой лопаток, рассчитанной в соответствии с современными представлениями. Ротор остается в газовой турбине, благодаря чему механическое место сопряжения между системой лопаток и ротором в креплении лопатки остается неизменным.

Однако когда профилирование новой системы лопаток приводит к изменению центров тяжести пера лопаток, изменяется механическая напряженность крепления лопатки. Как правило, это приводит к неблагоприятным нагрузкам на крепление лопатки, из-за чего профилирование новой системы лопаток должно согласовываться с максимально допустимыми значениями нагрузок на крепление лопатки. Как правило, это приводит к ограничениям при профилировании новой системы лопаток, из-за чего, в принципе, достижимые повышения коэффициента полезного действия неосуществимы.

В частности, для лопаток ротора компрессора оказалось, что при профилировании введение прямой стреловидности в нижней половине проточного канала повышает аэродинамическую эффективность лопаток ротора компрессора. Это сопровождается, впрочем, соответствующим смещением центров тяжести лопаток и задней кромки лопаток в направлении находящегося ниже по потоку ряда направляющих лопаток. В результате этого смещения центра тяжести ухудшается первоначально преобладающая симметрия нагрузки крепления лопаток внутри пазов лопаток, так что при

профилировании лопаток ротора компрессора степень прямой стреловидности сильно лимитирована. Чтобы все же придать лопаткам ротора компрессора прямую стреловидность, отклонение линии, проходящей через центры тяжести, осевых участков новой системы лопаток по сравнению с линией, проходящей через центры тяжести, осевых участков старой системы лопаток было ограничено пределами некоторой еще допустимой области. Тем самым достигалось, что нагрузка в хвостовике лопатки и в расположенном по периметру пазу при эксплуатации газовой турбины не становилась недопустимо высокой. При этом, однако, существенный потенциал и улучшение коэффициента полезного действия остается неиспользованным.

Выходом из положения могло бы дать сокращение длины хорды на корне лопатки новой системы лопаток. Эта мера была бы, впрочем, невыгодной в отношении аэродинамической нагрузочной способности и устойчивости новой системы лопаток и ее структурно-механической целостности.

В US 2003/012645 A1 описан способ дооснащения направляющей лопатки, при котором существующая направляющая лопатка заменяется новой направляющей лопаткой.

Задачей изобретения является создание способа профилирования заменяющей лопатки в качестве заменяющей части для старой лопатки для турбомашины с осевым направлением потока, лопатки ротора и лопатки статора для газовой турбины, а также создание газовой турбины, снабженной этой лопаткой ротора и/или этой лопаткой статора, причем эта газовая турбина имеет высокий термодинамический коэффициент полезного действия.

Задача решается с помощью признаков пп. 1, 8 и 10 формулы изобретения. Предпочтительно варианты ее осуществления указаны в других пунктах формулы изобретения.

Предлагаемый изобретением способ профилирования заменяющей лопатки в качестве заменяющей части для старой лопатки для турбомашины с осевым направлением потока включает в себя следующие шаги: определение геометрических характеристик контура ступицы и геометрических характеристик контура корпуса проточного канала старой лопатки, которая с одной стороны зажата в ступице или в корпусе, а также осевого положения центра тяжести пера лопатки и/или максимально пригодного для использования осевого конструктивного пространства старой лопатки; расчет геометрических характеристик пера заменяющей лопатки, при этом расположенное со стороны зажатия сечение пера заменяющей лопатки по существу находится в том же самом месте, что и расположенное со стороны зажатия сечение пера старой лопатки, и перо заменяющей лопатки с учетом оптимизации коэффициента полезного действия ступени на своей передней кромке наклоняется для зажатия выше по потоку, благодаря чему перо лопатки обладает прямой стреловидностью; задание близкой к зажатию области пера заменяющей лопатки, в которой положительное влияние прямой стреловидности на коэффициент полезного действия ступени классифицируется как незначительное; осевое смещение расположенного вне этой области участка пера заменяющей лопатки выше по потоку, пока осевое положение центра тяжести пера заменяющей лопатки по существу не совпадет с осевым положением центра тяжести пера старой лопатки и/или не будет достигнута механическая целостность заменяющей лопатки при использовании максимально пригодного для использования осевого конструктивного пространства старой лопатки, при этом в области от расположенного со стороны зажатия сечения пера заменяющей лопатки до смещенного участка пера заменяющей лопатки передняя кромка наклоняется для зажатия ниже по потоку,

вследствие чего перо лопатки в этой области обладает переходной стреловидностью.

Предпочтительным образом турбомашина с осевым направлением потока представляет собой компрессор и/или турбину газовой турбины. Предлагаемая изобретением лопатка ротора для газовой турбины представляет собой заменяющую лопатку, которая рассчитана предлагаемым изобретением способом. Кроме того, предлагаемая изобретением лопатка статора представляет собой заменяющую лопатку, которая рассчитана предлагаемым изобретением способом. Предлагаемая изобретением газовая турбина имеет указанную лопатку ротора и/или лопатку статора.

Предлагаемая изобретением лопатка компрессора имеет перо, которое имеет переднюю кромку, при этом перо лопатки с учетом оптимизации коэффициента полезного действия ступени на передней кромке наклонено для зажатия пера лопатки выше по потоку, благодаря чему перо лопатки обладает прямой стреловидностью, при этом задана близкая к зажатию область пера лопатки, в которой положительное влияние прямой стреловидности на коэффициент полезного действия ступени классифицируется как незначительное, причем в этой области пера лопатки передняя кромка наклонена для зажатия ниже по потоку, вследствие чего перо лопатки в этой области обладает переходной стреловидностью.

Близкая к зажатию область пера заменяющей лопатки, в которой положительное влияние прямой стреловидности на коэффициент полезного действия ступени классифицируется как незначительное, предпочтительно соответствует радиальной протяженности граничного слоя ступицы или вторичного потока со стороны зажатия. Предпочтительным образом эта область составляет от 5% до 15% высоты заменяющей лопатки.

Длина хорды корня заменяющей лопатки предпочтительно соответствует по существу длине хорды корня старой лопатки. Кроме того, способ предпочтительно содержит шаг: расчет геометрических характеристик пера заменяющей лопатки, при этом перо лопатки с учетом оптимизации коэффициента полезного действия ступени на своей передней кромке наклоняется в направлении зажатия с радиально повернутой стороны выше по потоку, благодаря чему перо за пределами прямой стреловидности обладает обратной стреловидностью. Кроме того, предпочтительно, чтобы прямая стреловидность передней кромки заменяющей лопатки распространялась только в половине проточного канала, радиально расположенной со стороны зажатия.

Переходная стреловидность в соответствии с изобретением выполнена в виде обратной стреловидности. Благодаря ей центр тяжести пера заменяющей лопатки смещается в направлении потока вперед, вследствие чего центр тяжести пера заменяющей лопатки принимает положение центра тяжести пера старой лопатки и/или достигается механическая целостность заменяющей лопатки с использованием максимально пригодного для использования осевого конструктивного пространства старой лопатки. В газовой турбине старая лопатка заменена заменяющей лопаткой. При этом старая лопатка, например, демонтируется с ротора газовой турбины, а заменяющая лопатка монтируется на место старой лопатки. Традиционно старая лопатка или соответственно заменяющая лопатка зажата с геометрическим замыканием в роторе газовой турбины. Благодаря тому, что центр тяжести заменяющей лопатки по существу находится в том же самом осевом положении, что и центр тяжести старой лопатки, и/или достигнута механическая целостность заменяющей лопатки с использованием максимально пригодного для использования осевого конструктивного пространства старой лопатки, напряженность крепления с геометрическим замыканием заменяющей лопатки по существу равна нагрузке на крепление с геометрическим

замыканием старой лопатки. Это, в частности, предпочтительно потому, что благодаря наличию прямой стреловидности при профилировании заменяющей лопатки для достижения высокого коэффициента полезного действия механическая нагрузка на крепление лопатки при эксплуатации газовой турбины с заменяющей лопаткой по существу такая же, как и при эксплуатации со старой лопаткой.

Переходная стреловидность локально ограничена той областью, которая находится близко к зажатию, и только незначительно ухудшает положительное влияние прямой стреловидности на коэффициент полезного действия ступени. Благодаря этому аэродинамическое влияние переходной стреловидности незначительно, в отличие от чего структурно-механические недостатки лопатки с приданной стандартным образом прямой стреловидностью снижены. Переходная стреловидность предпочтительно ограничена областью от 5% до 15% высоты заменяющей лопатки. Таким образом, в области высоких скоростей потока за пределами от 5% до 15% высоты заменяющей лопатки может использоваться преимущество прямой стреловидности. Кроме того, у предлагаемой изобретением лопатки ротора расстояние до находящейся ниже по потоку традиционной лопатки статора больше, чем если бы лопатке ротора традиционно была придана прямая стреловидность и без переходной стреловидности. Благодаря этому возбуждение аэродинамическими силами, вызванными вращением предлагаемой изобретением лопатки ротора, незначительно.

Ниже один из предпочтительных вариантов осуществления профилированной предлагаемым изобретением способом лопатки ротора в качестве заменяющей лопатки для старой лопатки для газовой турбины поясняется с помощью приложенных схематичных чертежей.

Показано:

фиг. 1: вид сверху в окружном направлении лопатки ротора и

фиг. 2: изображение в перспективе лопатки ротора с фиг. 1.

Как видно из фиг. 1 и 2, заменяющая лопатка 1, которая представляет собой лопатку ротора, имеет перо 2 лопатки и корень 3 лопатки, который может зажиматься в хвостовике лопатки (не показан) в роторе газовой турбины с геометрическим замыканием. Для этого на корне 3 лопатки выполнен хвостовик лопатки, который имеет профиль хвостовика. В качестве ответной части к нему в роторе предусмотрен паз с соответствующим профилем, при этом хвостовик лопатки может вставляться в этот паз.

На радиально повернутом конце пера 2 лопатки заменяющая лопатка 1 имеет вершину 4 лопатки. Вершина 4 лопатки в смонтированном состоянии заменяющей лопатки 1 расположена непосредственно рядом с внутренней стороной корпуса, благодаря чему между внутренней стороной корпуса и вершиной 4 лопатки образован радиальный зазор. В расчетном состоянии вершина 4 лопатки совпадает с линией 6 контура корпуса, которая по условиям эксплуатации задана для монтажа и эксплуатации заменяющей лопатки 1 в газовую турбину. Аналогично этому задана линия 5 контура ступицы, которой в расчетном состоянии ограничено перо 2 лопатки на ступице. Заменяющая лопатка 1 зажата в ступице. Перо 2 лопатки имеет переднюю кромку 7 и заднюю кромку 8. На фиг. 1 перо 2 лопатки изображено множеством осевых сечений 9. Каждое осевое сечение 9 имеет центр тяжести, при этом центры тяжести осевых сечений находятся на линии 10, проходящей через центры тяжести.

Заменяющая лопатка 1 предусмотрена для старой лопатки 11. Старая лопатка 11 имеет переднюю кромку 12 и заднюю кромку 13. Старая лопатка 11 профилирована традиционно, при этом передняя кромка 12 и задняя кромка 13 старой лопатки 1

выполнены прямолинейно. В противоположность профилированию старой лопатки 11 заменяющая лопатка 11 профилирована в соответствии с современными представлениями. При этом передней кромке 7 заменяющей лопатки 1 в нижней области канала придана прямая стреловидность 14. Дополнительно передней кромке 7 заменяющей лопатки 1 в верхнем участке канала придана обратная стреловидность.

При профилировании пера 2 заменяющей лопатки 1 следует поступать следующим образом: сначала надо определить геометрические характеристики линии 5 контура ступицы и линии 6 контура корпуса старой лопатки 11. Кроме того, надо определить осевое положение центра тяжести пера старой лопатки 11 и/или максимально возможную огибающую старой лопатки 11. Затем надо рассчитать геометрические характеристики пера 2 заменяющей лопатки 1, при этом сечение ступицы пера 2 заменяющей лопатки 1 по существу должно быть расположено в том же месте, что и сечение ступицы пера старой лопатки 1, и/или достигнута механическая целостность заменяющей лопатки 1 при использовании максимально возможной огибающей старой лопатки 11. Это необходимо, так как заменяющая лопатка 1 должна монтироваться на место старой лопатки 11 в газовой турбине, причем для заменяющей лопатки 1 должно браться то же самое крепление лопатки, что и для старой лопатки 11. Кроме того, перо 2 заменяющей лопатки 1 с учетом оптимизации коэффициента полезного действия ступени на своей передней кромке 7 должно наклоняться в направлении ступицы выше по потоку, благодаря чему перо 2 заменяющей лопатки 1 приобретает прямую стреловидность 14. Теперь надо определить осевое положение центра тяжести пера 2 заменяющей лопатки 1.

Кроме того, надо задать близкую к зажатию область пера 2 заменяющей лопатки 1 с учетом того, чтобы в области 21 положительное влияние прямой стреловидности 14 на коэффициент полезного действия ступени классифицировалось как незначительное. Для этого предпочтительно надо оценить радиальную протяженность расположенного со стороны зажатия граничного слоя ступицы заменяющей лопатки 1, причем эта радиальная протяженность соответствует области 21. Альтернативно этому предпочтительно можно взять радиальную протяженность расположенного со стороны ступицы вторичного потока заменяющей лопатки 1. Кроме того, альтернативно этому можно задать область 21 как от 5% до 15% высоты заменяющей лопатки 1.

В результате расчета геометрических характеристик пера 2 заменяющей лопатки 1 получается линия 15 передней кромки и линия 16 задней кромки для пера 2 заменяющей лопатки 1. Линия 15 передней кромки со стороны ступицы обладает прямой стреловидностью 14. В качестве следующего шага надо сместить расположенный за пределам области 21 участок пера заменяющей лопатки 1 выше по потоку в осевом направлении так, чтобы осевое положение центра тяжести полученного при этом нового пера 2 заменяющей лопатки 1 по существу совпало с осевым положением центра тяжести пера старой лопатки 11. Благодаря тому, что сечение ступицы пера 2 заменяющей лопатки 1 остается в своем первоначально заданном и совпадающим с сечением ступицы старой лопатки положении, в частности, на передней кромке 7 пера 2 заменяющей лопатки 1 произошло смещение 17 передней кромки, а на задней кромке 8 пера 2 заменяющей лопатки 1 - смещение 18 задней кромки. Для перехода от сечения ступицы пера 2 заменяющей лопатки 1 к расположенному за пределами области 21 участку пера заменяющей лопатки 1 в области 21 надо наклонить переднюю кромку в направлении ступицы ниже по потоку, вследствие чего в области 21 для передней кромки 7 заменяющей лопатки 1 получится переходная стреловидность 19. Переходная стреловидность 19 является обратной стреловидностью и лишь в незначительной мере

ухудшает коэффициент полезного действия ступени, так как переходная стреловидность 19 находится в области 21.

Вызванное наличием смещения 17 передней кромки, смещения 18 задней кромки или соответственно переходной стреловидности 19 в сечении ступицы пера 2 заменяющей лопатки 1 произошло смещение 20 центра тяжести ниже по потоку, так что центр тяжести пера 2 заменяющей лопатки по существу совпадает с центром тяжести пера старой лопатки 11. При расчете геометрических характеристик пера лопатки, кроме того, длина хорды корня 3 заменяющей лопатки 1 выбрана по существу равной длине хорды корня старой лопатки 11.

(57) Формула изобретения

1. Способ изготовления заменяющей лопатки (1) в качестве заменяющей детали старой лопатки (11) для турбомашины с осевым направлением потока, включающий шаги:

- определение геометрических характеристик (5) контура ступицы и геометрических характеристик (6) контура корпуса снабженного старой лопаткой (11) проточного канала, а также осевого положения центра тяжести пера старой лопатки (11), которая с одной стороны зажата в ступице или в корпусе, и/или максимально полезного осевого конструктивного пространства старой лопатки (11);

- расчет геометрических характеристик пера (2) заменяющей лопатки (1), при этом расположенная со стороны зажатия линия (5, 6) контура пера (2) заменяющей лопатки (1) по существу находится в том же месте, что и расположенная со стороны зажатия линия (5, 6) контура пера старой лопатки (11), и перо (2) заменяющей лопатки (1) на своей передней кромке (7) наклоняется в направлении зажатия выше по потоку, благодаря чему перо (2) обладает прямой стреловидностью (14);

- задание близкой к зажатию области (21) пера (2) заменяющей лопатки (1), в которой положительное влияние прямой стреловидности (14) на коэффициент полезного действия ступени считается незначительным, составляющей от 5% до 15% высоты заменяющей лопатки (1);

- осевое смещение расположенного за пределами области (21) участка пера заменяющей лопатки (1) выше по потоку, пока осевое положение центра тяжести пера (2) заменяющей лопатки (1) по существу не совпадет с осевым положением центра тяжести пера старой лопатки (11);

при этом в области (21) от расположенной со стороны зажатия линии (5) контура пера (2) заменяющей лопатки (1) до смещенного участка пера (2) заменяющей лопатки передняя кромка (7) наклоняется в направлении зажатия ниже по потоку, благодаря чему перо (2) лопатки в этой области (21) обладает переходной стреловидностью (19),

- и профилирование заменяющей лопатки (1) в соответствии с указанными шагами.

2. Способ по п. 1, при котором длина хорды на корне (3) заменяющей лопатки (1) по существу соответствует длине хорды на корне старой лопатки (11).

3. Способ по п. 1 или 2, включающий в себя шаг:

расчет геометрических характеристик пера (2) заменяющей лопатки (1),

при этом перо (2) лопатки на своей передней кромке (7) наклоняется в направлении зажатия с радиально повернутой стороны выше по потоку, благодаря чему перо (2) лопатки за пределами прямой стреловидности (14) обладает обратной стреловидностью (15).

4. Лопатка ротора для газовой турбины, причем эта лопатка ротора является заменяющей лопаткой (1), которая изготовлена способом по одному из пп. 1-3.

5. Лопатка статора для газовой турбины, причем эта лопатка статора является заменяющей лопаткой (1), которая изготовлена способом по одному из пп. 1-3.

6. Газовая турбина, снабженная лопаткой ротора по п. 4 и/или лопаткой статора по п. 5.

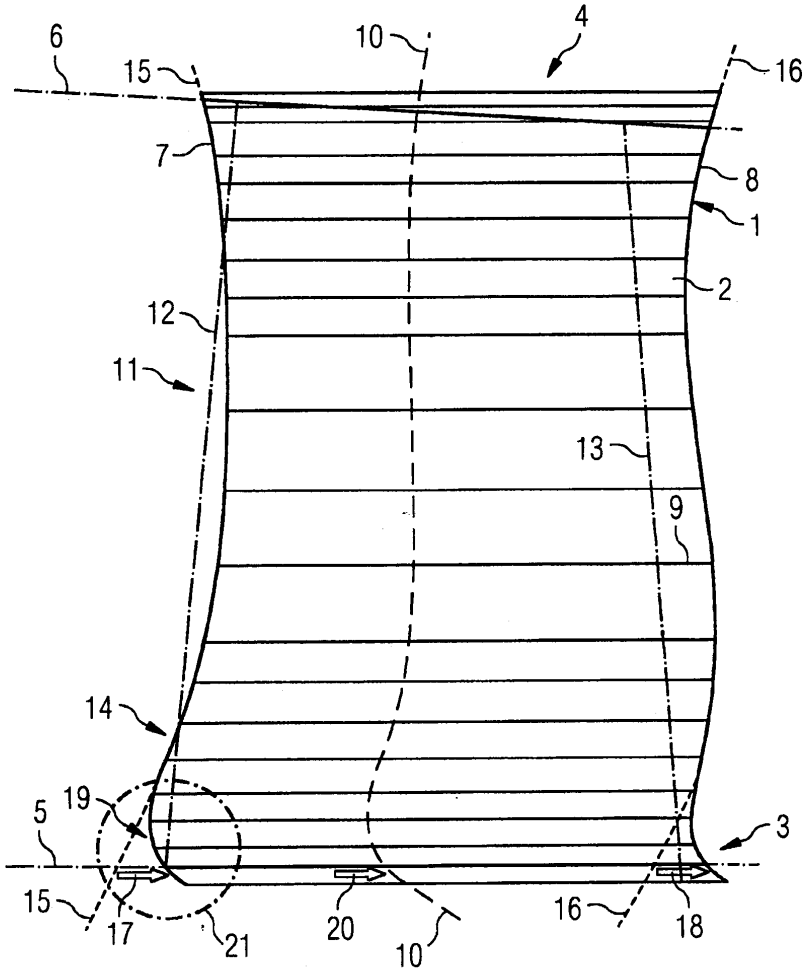
7. Лопатка компрессора, имеющая перо (2), которое имеет переднюю кромку (7), при этом перо (2) лопатки на своей передней кромке (7) наклонено в направлении зажатия пера (2) лопатки выше по потоку, благодаря чему перо (20) лопатки обладает прямой стреловидностью (14);

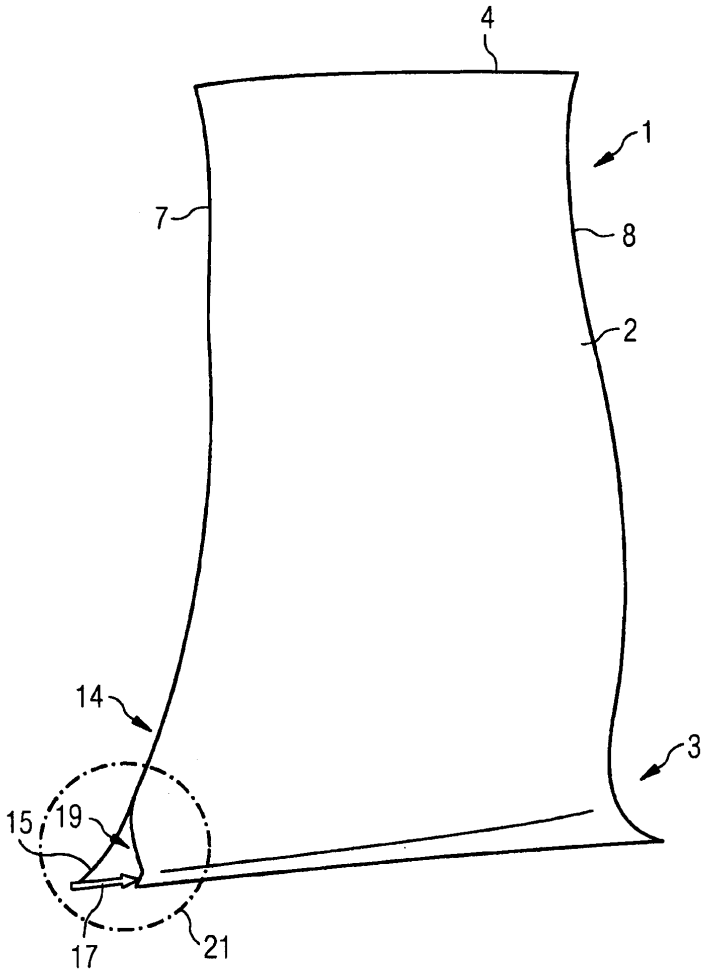
при этом задана близкая к зажатию область (21) пера (2) лопатки, которая составляет от 5% до 15% высоты пера (2) лопатки, причем в этой области (21) пера (2) лопатки передняя кромка (7) наклонена в направлении зажатия ниже по потоку, благодаря чему перо (2) лопатки в этой области (21) обладает переходной стреловидностью (19).

1

1/2

ФИГ.1



2

ФИГ.2