



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2008138053/06, 23.09.2008**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.09.2008

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
24.09.2007 FR 0706675(43) Дата публикации заявки: **27.03.2010** Бюл. № 9(45) Опубликовано: **10.01.2013** Бюл. № 1(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 4907765 A, 13.03.1990. EP 0626228 A1, 30.11.1994. US 4354648 A, 19.10.1982. US 5133516 A, 28.07.1992. RU 2001833 C1, 30.10.1993. DE 20107863 U1, 25.10.2001.**

Адрес для переписки:

**129090, Москва, ул.Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. А.В.Мищу, рег.№ 364**

(72) Автор(ы):

**ЛЕБРЕ Ианн Паскаль Раймон Рене (FR),
МОН Клод Марсель (FR)**

(73) Патентообладатель(и):

СНЕКМА (FR)**(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ СОБОЙ ЗАВИХРИТЕЛИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ**

(57) Реферат:

При формировании рельефных элементов, представляющих собой завихрители пограничного слоя, на поверхность стенки, обтекаемой потоком текучей среды, наносят лазерные удары. Лазерные удары наносят с созданием гребней по периметру зон нанесения этих лазерных ударов. Гребни образуют рельефные элементы, являющиеся завихрителями. Следы от нанесения лазерного

удара имеют квадратную, прямоугольную, круглую или эллиптическую форму. Лазерные удары организуют таким образом, чтобы следы реализованных лазерных ударов оказались примыкающими друг к другу или частично перекрывали друг друга. Изобретение позволяет повысить прочность обрабатываемой детали, а также обеспечить возможность воздействия на пограничный слой. 5 з.п. ф-лы, 7 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
F01D 5/14 (2006.01)
F04D 29/68 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2008138053/06, 23.09.2008**

(24) Effective date for property rights:
23.09.2008

Priority:

(30) Convention priority:
24.09.2007 FR 0706675

(43) Application published: **27.03.2010 Bull. 9**

(45) Date of publication: **10.01.2013 Bull. 1**

Mail address:

**129090, Moskva, ul.B.Spaskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. A.V.Mitsu, reg.№ 364**

(72) Inventor(s):

**LEBRE Iann Paskal' Rajmon Rene (FR),
MON Klod Marsel' (FR)**

(73) Proprietor(s):

SNEKMA (FR)

(54) **SHAPING METHOD OF RELIEF ELEMENTS REPRESENTING SWIRLERS OF BOUNDARY LAYER**

(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: laser impacts are applied so that ridges are created along perimetre of application zones of those laser impacts. Ridges form relief elements being swirlers. Marks after application of laser impact have square, rectangular, round or

elliptical shape. Laser impacts are arranged so that marks of implemented laser impacts are adjacent to each other or cover each other partially.

EFFECT: invention allows increasing strength of machined part, as well as providing the possibility of action on boundary layer.

6 cl, 7 dwg

RU 2 4 7 1 9 9 5 C 2

RU 2 4 7 1 9 9 5 C 2

Предлагаемое изобретение относится к области газотурбинных двигателей и, говоря более конкретно, относится к средству, предназначенному для совершенствования течения потока текучей среды вдоль поверхностей, осуществляющих аэродинамическую функцию, таких, например, как лопатки.

5 Проведенные исследования показывают, что эффективность крыла или лопатки существенно повышается в результате тщательной полировки их поверхностей, а также и то, что создание шероховатостей на передней кромке может вполне заметным образом воздействовать на отрыв пограничного слоя на верхней поверхности этого
10 крыла или лопатки. Расчеты показывают, что создание организованной системы завихрителей вдоль передней кромки исходя из полированного состояния поверхности может в еще большей степени повысить эту аэродинамическую эффективность. Контрольные испытания эффекта "акульей кожи" были выполнены на крыльях самолета, и эти испытания продемонстрировали преимущество в удельном
15 расходе CS, составляющее примерно 1%. Эта так называемая акуляя кожа была реализована на основе самоклеящихся пленок типа Mylar®.

В то же время, независимо от этих проблем, относящихся к области аэродинамики, делались попытки повысить усталостную прочность таких деталей, как лопатки
20 газотурбинного двигателя, подвергающихся в процессе функционирования воздействию значительных напряжений, как механических, так и термических, в результате уплотнения слоев материала, примыкающих к ее поверхности, в частности в зонах, располагающихся в непосредственной близости от передней кромки.

Известная технология состоит в реализации уплотнения материала посредством
25 нанесения импульсного лазерного удара. Этот способ содержит размещение на поверхности, подлежащей обработке, некоторого абляционного покрытия, такого, например, как краска или адгезивная лента, и обстрел импульсами лазерного пучка в направлении покрытой таким образом поверхности с тем, чтобы произвести
30 разрушение материала покрытия в результате пульверизации. При этом возникают ударные волны, которые являются основой для уплотнения обрабатываемого материала. Ударная волна заключена в замкнутом пространстве при помощи материала, нанесенного на абляционное покрытие и прозрачного для лазерного
35 пучка. При этом речь обычно идет о водяной завесе. Лазер должен быть способен обеспечивать плотность мощности на уровне примерно от 2 до 10 ГВт/см² и продолжительность импульса в диапазоне примерно от десяти до тридцати наносекунд, причем частота формирования этих импульсов имеет величину в диапазоне от менее одного герца до нескольких герц.

40 Следы, которые остаются на поверхности материала в результате лазерных ударов, могут иметь круглую, квадратную, прямоугольную или эллиптическую форму и покрывают площадь поверхности, составляющую от 1 мм² до 2 мм² или даже меньше. В соответствии с известной технологией обработки эти лазерные удары являются
45 единичными или повторяющимися несколько раз, например три или четыре раза, в каждой подлежащей обработке точке для того, чтобы обработать весь диапазон глубины материала и постепенно достигнуть расчетного уровня напряжений. Кроме того, обработка данной поверхности осуществляется при помощи частичного перекрытия следов, оставляемых лазерными ударами, для того чтобы не оставить
50 между этими следами поверхностей, не подвергнутых обработке. Таким образом, поверхность обрабатывают, осуществляя сканирование, создавая ряды отстоящих друг от друга следов лазерных ударов и повторяя несколько раз это сканирование всякий раз с небольшим смещением для того, чтобы охватить все точки подлежащей

обработке поверхности. Такая технология в сочетании с обычной дробеструйной обработкой описана в патентной заявке EP 1752234, выданной на имя Заявителя. Обработка лопатки газотурбинного двигателя и, говоря более конкретно, обработка поверхности ее передней кромки или ее задней кромки в соответствии с технологией
5 нанесения лазерных ударов также описана в патентной заявке EP 731184.

При помощи упомянутых покрытий исключают формирование впадин в местах от следов лазерных ударов. Образование такой впадины подразумевает подъем кромок этой впадины. Действительно, распределение энергии падающей ударной волны по
10 существу имеет форму гауссовой кривой или трапецевидную форму. Это обстоятельство влечет за собой образование ванночки с выталкиванием материала в направлении периферийных кромок следа упомянутого лазерного удара. При этом высота гребня, окружающего упомянутую ванночку, зависит от энергетических параметров лазерного удара и от площади поверхности следа этого лазерного удара.
15

Принимая во внимание указания из описанного выше существующего уровня техники, объектом предлагаемого изобретения является выполнение рельефных элементов, являющихся завихрителями, на поверхности стенки, которую обтекает поток текучей среды, с целью повышения ее аэродинамической эффективности.

В соответствии с предлагаемым изобретением способ, предназначенный для реализации на поверхности стенки, которая обтекается потоком текучей среды, рельефных элементов, образующих завихрители пограничного слоя в потоке текучей среды, отличается тем, что лазерные удары наносят на упомянутую поверхность таким образом, чтобы создать гребни по периметру следов нанесения этих ударов,
20 причем эти гребни образуют упомянутые рельефные элементы-завихрители.

При использовании этого способа удается преобразовать недостаток технологии нанесения лазерных ударов в ее преимущество. Эти рельефные элементы, образующие шероховатости, рассматриваются как нежелательные в технологии уплотнения детали
30 при помощи лазерных ударов, поскольку в данном случае речь идет о сохранении возможно менее возмущенного состояния обрабатываемой поверхности, причем здесь технической задачей является улучшение механических и термических свойств обрабатываемой детали. Теперь же, согласно способу в соответствии с предлагаемым изобретением, образование этих рельефных элементов оказывается благоприятным
35 для формирования завихрителей пограничного слоя с целью модификации его поведения: они могут выступать в качестве замедлителя или в качестве разъединителя завихрений в зависимости от требуемого эффекта. Действительно, соответствующая организация этих завихрений может в действительности в зависимости от расходов и давления, а также от числа Рейнольдса в потоке улучшить поведение пограничного
40 слоя, устраняя, например, его отрыв для очень высоких скоростей движения потока текучей среды.

Здесь следует отметить, что способ в соответствии с предлагаемым изобретением также не исключает получения положительного эффекта от использования
45 технологии нанесения лазерных ударов для улучшения механических и термических свойств обрабатываемой детали.

Исходя из этого базового принципа осуществление предлагаемого способа может изменяться. Так, например, в соответствии с конкретными потребностями следы
50 лазерных ударов могут иметь квадратную, прямоугольную, круглую или эллиптическую форму, причем геометрические параметры каждого следа лазерного удара могут быть запрограммированы, обеспечивая таким образом возможность создания геометрических параметров поверхностей и завихрителей в соответствии с

конкретными условиями расхода/давления и пленки.

Организация последовательно наносимых следов лазерных ударов также может меняться. Эти следы лазерных ударов могут, например, по меньшей мере для части из них располагаться рядом друг с другом.

Можно также изменять энергию нанесенных лазерных ударов в зависимости от особенностей данного лазерного удара так, чтобы обеспечить формирование рельефных элементов, образующих завихрители и имеющих различную высоту. Расстояния между этими рельефными элементами также могут быть различными в соответствии, например, с теми или иными математическими законами.

Способ в соответствии с предлагаемым изобретением предпочтительным образом применяется для обработки стенки лопатки газотурбинного двигателя, в частности стенки лопатки компрессора газотурбинного двигателя.

Другие характеристики и преимущества предлагаемого изобретения будут лучше поняты из приведенного ниже описания способов его реализации, где даются ссылки на приведенные в приложении фигуры, среди которых:

на фиг.1 представлен пример следа единичного лазерного удара, причем фиг.1А представляет собой график, иллюстрирующий уровень энергии этого удара в зависимости от расстояния от обрабатываемой детали, фиг.1В демонстрирует вид в разрезе состояния поверхности обрабатываемой детали после нанесения лазерного удара, и фиг.1С демонстрирует вид этой детали сверху;

фиг.2 иллюстрирует при помощи графика 2А и вида в разрезе 2В обрабатываемой детали Р, принимающей лазерные удары, эффект, производимый последовательностью этих лазерных ударов;

фиг.3 схематически иллюстрирует при помощи графика 3А и вида в разрезе обрабатываемой детали Р, принимающей лазерные удары, эффект, производимый другой последовательностью этих лазерных ударов;

фиг.4 иллюстрирует изменение пограничного слоя потока текучей среды на профиле крыла;

фиг.5 иллюстрирует пример реализации последовательности лазерных ударов, реализуемой на профиле лопатки.

фиг.1 состоит из трех частей 1А, 1В и 1С. График, приведенный на фиг.1А, иллюстрирует по оси ординат изменение уровня энергии W , приложенной при помощи лазерного удара. На оси абсцисс отображается расстояние d . Здесь можно видеть, что уровень этой энергии является однородным и максимальным в центральной зоне лазерного удара I_0 . При этом уровень энергии постепенно уменьшается по мере удаления от этой центральной зоны. На схеме 1В, которая представляет собой вид в разрезе обрабатываемой детали Р в зоне лазерного удара I_0 и иллюстрирует состояние поверхности этой детали, можно видеть, что материал выталкивается на кромках следа этого лазерного удара I_0 и образует боковые рельефные элементы R1 и R2, которые здесь показаны в разрезе. Высота этих рельефных элементов зависит от уровня энергии лазерного удара и свойств поверхности, воспринимающей этот лазерный удар.

На виде сверху форма зоны, деформированной в результате лазерного удара, зависит от формы лазерного пучка, который в данном случае имеет прямоугольную форму. При этом деформированная зона имеет форму ванночки, обрамленной четырьмя небольшими стенками или рельефными элементами R1, R2, R3 и R4.

На фиг.2, как и на фиг.1, представлены график 2А и на фиг.2В вид обрабатываемой детали Р в разрезе вдоль зоны осуществления лазерного удара. На этой фигуре

проиллюстрирован эффект перекрытия двух следов лазерного удара $\Gamma'1$ и $\Gamma'2$.

Рельефные элементы $R'2$ в части, где два следа этих лазерных ударов перекрываются, оказываются сплюснутыми. Такого перекрытия стремятся достичь для тех зон, где желательнее иметь достаточно малую шероховатость и ламинарное течение потока.

5 На фиг.3, как и на фиг.1, представлены график 3А и на фиг.3В вид обрабатываемой детали Р в разрезе. Здесь рельефные элементы $R'2$, $R'3$, при прочих равных условиях, являющихся следствием взаимного перекрытия следов лазерного удара, могут быть более или менее высокими в зависимости от того, в какой степени перекрывают друг друга эти следы лазерных ударов $\Gamma'1$, $\Gamma'2$ и $\Gamma'3$. Таким образом, рельефный элемент $R'2$ является следствием взаимного перекрытия двух следов лазерных ударов $\Gamma'1$ и $\Gamma'2$, которое в данном случае является более протяженным, чем для рельефного элемента $R'3$, и он оказывается более сплюснутым, чем этот последний рельефный элемент.

15 Характер течения потока текучей среды вдоль профиля PR, например вдоль профиля лопатки, представлен на фиг.4. В данном случае речь идет о течении потока вдоль наружной поверхности этой лопатки. Поток текучей среды встречается с рассматриваемой здесь деталью со скоростью V , однородной по высоте представленного чертежа. Эта скорость изменяется вдоль поверхности упомянутого профиля. В частности, толщина пограничного слоя CL, граница которого с зоной турбулентного течения проиллюстрирована пунктирной линией, возрастает от точки А торможения потока на первой части (I), причем здесь пограничный слой является ламинарным (I). Затем в переходной области (II) этот пограничный слой постепенно становится турбулентным. В последующем этот пограничный слой является турбулентным на участке (III) наружной поверхности лопатки перед отрывом потока в зоне (IV), и после этой зоны формируется турбулентный след (V).

25 Протяженность упомянутой первой части (I), в которой пограничный слой является ламинарным, по существу зависит от степени шероховатости профиля. В случае ламинарного течения толщина пограничного слоя является несколько меньшей, чем в случае турбулентного течения (При этом числа Рейнольдса соответственно имеют величину $Re=0,5$ и $Re=1/6$). При этом также имеет место более высокий градиент скорости на стенке.

35 Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, например статья Р.А.Krogstad и R.A.Antonia: "Surface roughness effects in a turbulent boundary layer" ("Влияние шероховатой поверхности в турбулентном пограничном слое", П.А.Крогштад и Р.А.Антония), появившаяся в журнале Experiments in fluids, том 27, 1999 г., стр.450-460, Springer verlag, показывают, что для идентичного среднего течения шероховатость стенки оказывает сильное воздействие на поведение турбулентного пограничного слоя, и не только на вязком подслое, весьма близком к этой стенке. Таким образом, упомянутая обработка позволяет одновременно воздействовать на два параметра: положение переходной зоны между ламинарным течением и турбулентным течением и на коэффициент вязкости. Оба этих параметра оказывают влияние на коэффициент полезного действия лопатки и на сцепление пограничного слоя.

50 Говоря другими словами, при помощи способа в соответствии с предлагаемым изобретением можно:

- разместить переходную зону (II) между ламинарным пограничным слоем и турбулентным пограничным слоем, создавая в желаемой зоне на поверхности детали, подвергающейся обтеканию, рельефные элементы, обеспечивающие возмущение

течения;

- наилучшим образом контролировать положение этой зоны (П), располагая рельефные элементы разъединения вихрей в соответствующих зонах;

5 - наилучшим образом контролировать интенсивность турбулентности в этой переходной зоне в результате выбора:

формы поверхностей, подвергающихся воздействию лазерных ударов (лазерные удары прямоугольной или другой формы),

10 высоты гребней, параллельных передней или задней кромкам, расстояния между линиями этих гребней.

На фиг.5 весьма схематическим образом представлена часть лопатки 2. На наружной поверхности этой лопатки реализуют множество лазерных ударов In, следы которых имеют прямоугольную форму, располагающихся по одной линии вдоль хорды лопатки, с одной стороны, и параллельно ее оси с другой стороны. Таким образом формируют продольные линии гребней Rl и поперечные линии гребней Rt. При этом поперечные линии Rt, например, имеют несколько меньшую высоту, чем линии продольных гребней Rl, в результате перекрытия следов лазерных ударов на уровне лопатки. В рассмотренном здесь примере следы In лазерных ударов являются идентичными, но способ в соответствии с предлагаемым изобретением предполагает возможность осуществления любого другого варианта. Таким образом, следы лазерных ударов могут, например, иметь площадь, возрастающую по мере удаления на поверхности лопатки от задней кромки (или от передней кромки) этой лопатки.

25

Формула изобретения

1. Способ формирования рельефных элементов, представляющих собой завихрители пограничного слоя, на поверхности стенки, обтекаемой потоком текучей среды, отличающийся тем, что на упомянутую поверхность наносятся лазерные удары таким образом, чтобы создать гребни по периметру зон нанесения этих лазерных ударов, причем эти гребни образуют упомянутые рельефные элементы, являющиеся завихрителями.

2. Способ по п.1, в соответствии с которым следы от нанесения лазерного удара имеют квадратную, прямоугольную, круглую или эллиптическую форму.

35 3. Способ по п.1, в соответствии с которым осуществляют лазерные удары, организованные таким образом, чтобы следы реализованных лазерных ударов оказались примыкающими друг к другу или частично перекрывали друг друга.

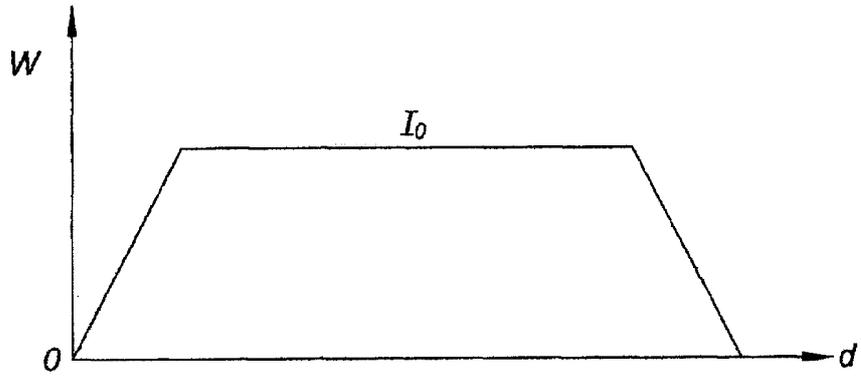
4. Способ по п.1, в соответствии с которым изменяют уровень приложенной энергии в зависимости от зоны лазерного удара таким образом, чтобы обеспечить формирование рельефных элементов-завихрителей различной высоты.

5. Способ по п.1, применяемый к стенке лопатки газотурбинного двигателя.

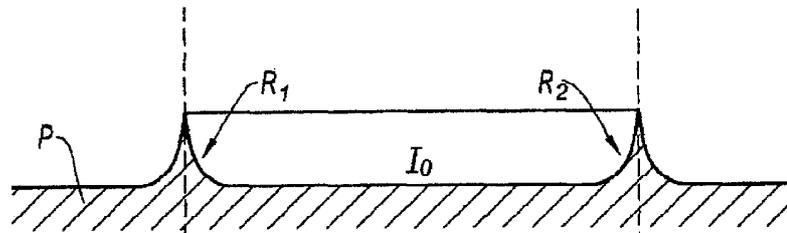
6. Способ по предшествующему пункту, применяемый к стенке лопатки компрессора газотурбинного двигателя.

45

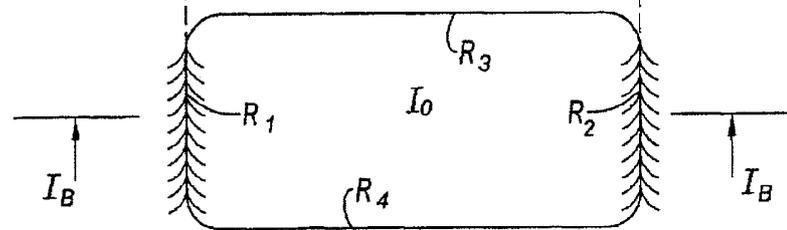
50



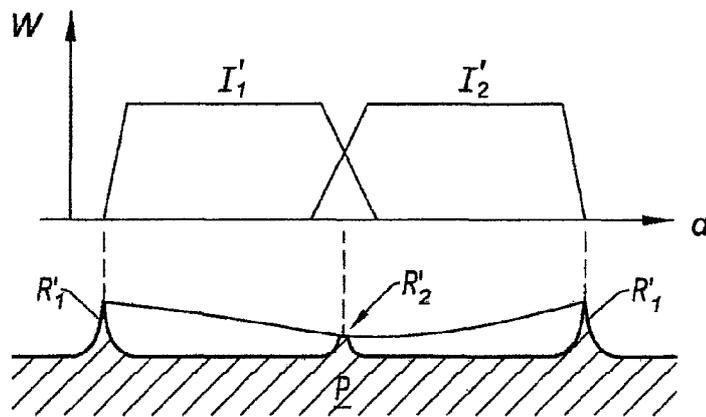
ФИГ. 1А



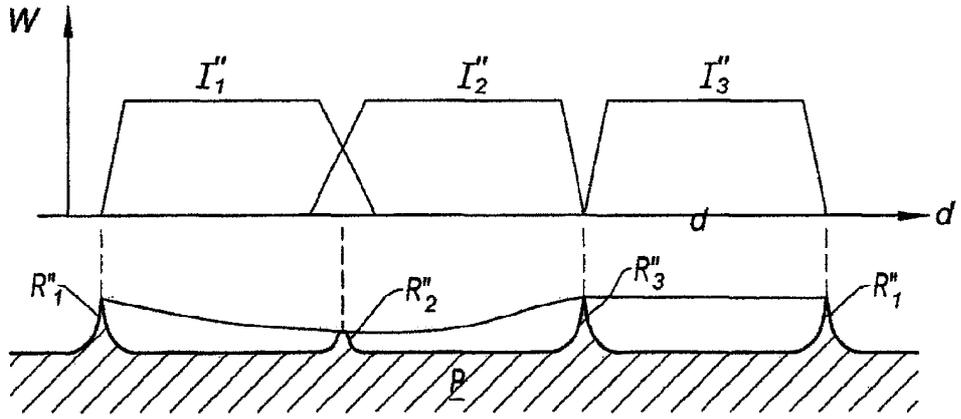
ФИГ. 1В



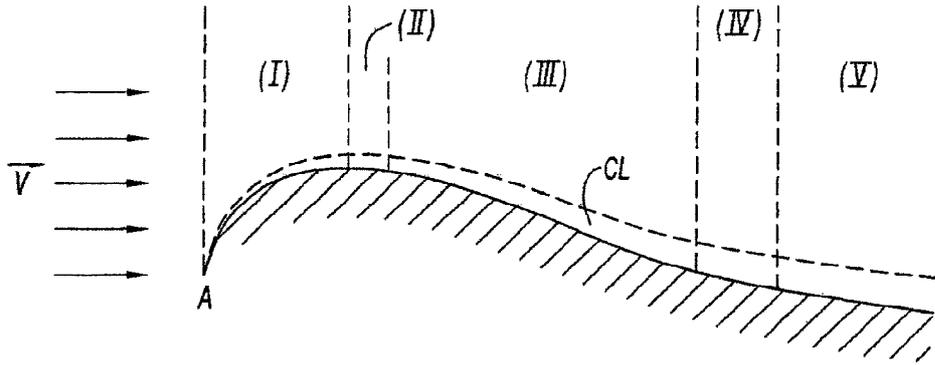
ФИГ. 1С



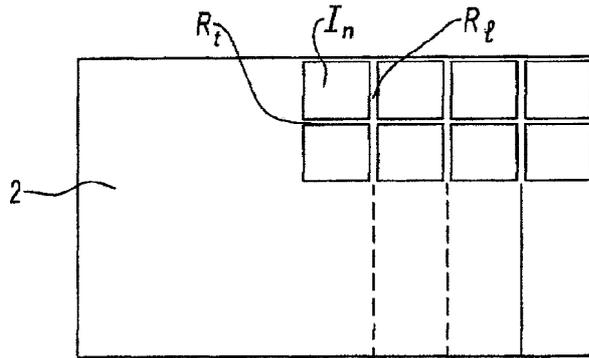
ФИГ. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5