



(51) МПК  
**B22F 7/04** (2006.01)  
**B22F 3/18** (2006.01)  
**F01D 11/12** (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2011122048/02, 31.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 31.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.05.2011

(45) Опубликовано: 27.07.2012 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2039631 C1, 20.07.1995. RU 2367548 C1, 20.09.2009. SU 1092202 A1, 15.05.1984. US 5536022 A, 16.07.1996. WO 02099254 A1, 12.12.2002.

Адрес для переписки:

450081, г.Уфа, а/я 20, ООО "НПП  
 Вакууммаш", А.Ф. Егошиной

(72) Автор(ы):

Лисянский Александр Степанович (RU),  
 Смыслов Анатолий Михайлович (RU),  
 Смыслов Алексей Анатольевич (RU),  
 Мингажев Аскар Джамилевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

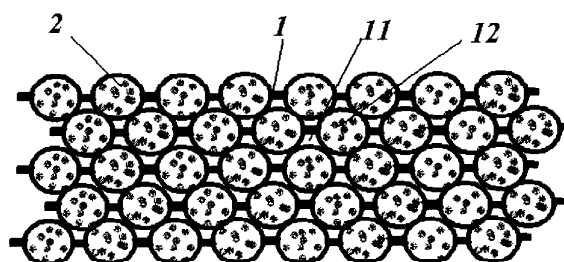
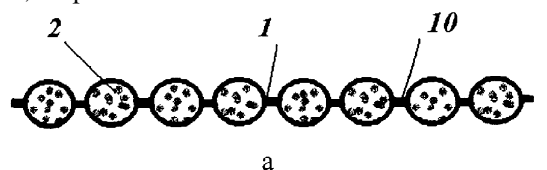
Общество с ограниченной  
 ответственностью "Научно-  
 производственное предприятие Вакууммаш"  
 (RU)

**(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИРАБАТЫВАЕМОГО УПЛОТНЕНИЯ ТУРБИНЫ С  
 ОРИЕНТИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению, в частности к уплотнениям зазоров проточной части турбомашин, длительно работающих в условиях повышенных температур и высокочастотных вибраций. Элемент прирабатываемого уплотнения формируют путем спекания в два этапа порошка прирабатываемого материала в пресс-форме в вакууме или защитной среде. На первом этапе из порошка прирабатываемого материала, связующего материала и металлической сетки формируют ленту с закрепленными на ней в поперечном направлении стержнями, путем подачи порошка прирабатываемого материала, связующего материала и металлической сетки в межвалковый зазор и в формочки, выполненные на поверхности валков, прокаткой через нагретые валки. На втором этапе складывают образованную ленту со стержнями в пресс-форму, ориентируя оси стержней по высоте формируемого элемента уплотнения, и формируют элемент уплотнения,

спекая ленту со стержнями в пресс-форме до образования сплошного каркаса при спекании поверхностей стержней и ленты. Полученный элемент обеспечивает одновременно высокую прирабатываемость, механическую прочность и износостойкость уплотнения. 24 з.п. ф-лы, 4 ил., 1 пр.



б

Фиг.2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
**B22F 7/04** (2006.01)  
**B22F 3/18** (2006.01)  
**F01D 11/12** (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

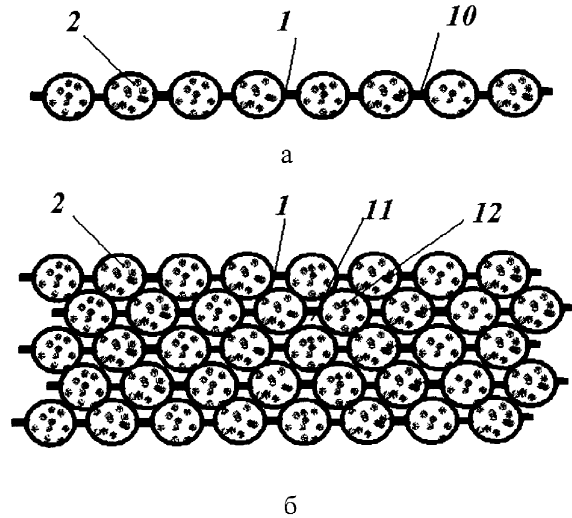
(21)(22) Application: 2011122048/02, 31.05.2011  
(24) Effective date for property rights:  
31.05.2011  
Priority:  
(22) Date of filing: 31.05.2011  
(45) Date of publication: 27.07.2012 Bull. 21  
Mail address:  
450081, g.Ufa, a/ja 20, OOO "NPP Vakuummash",  
A.F. Egoshinoy

(72) Inventor(s):  
**Lisjanskij Aleksandr Stepanovich (RU),  
Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),  
Smyslov Aleksej Anatol'evich (RU),  
Mingazhev Askar Dzhamilevich (RU)**  
(73) Proprietor(s):  
**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju  
"Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie  
Vakuummash" (RU)**

(54) **METHOD OF FABRICATING TURBINE RUN-IN ALIGNED-STRUCTURE SEAL**

(57) Abstract:  
FIELD: process engineering.  
SUBSTANCE: invention relates to machine building, particularly, to turbo machine flow section seals operated at higher temperatures and high-frequency oscillations. Run-in material powder is sintered in die in two steps vacuum or protective medium. At first step, run-in material, binder and metal screen are used to produce band with rods secured thereon and cross it by feeding said components in roll space and dies made on roll surface on rolling through heated rolls. At second step, produced band with rods is laid in die and rods are directed along seal element height to sinter said bans to formation of solid carcass.  
EFFECT: higher run-in properties, mechanical strength and wear resistance.

25 cl, 4 dwg, 1 ex



Фиг.2

RU 2 4 5 7 0 7 1 C 1

RU 2 4 5 7 0 7 1 C 1

Изобретение относится к машиностроению, в частности к способам изготовления уплотнений зазоров проточной части турбомашин, длительно работающих в условиях повышенных температур и высокочастотных вибраций.

5 Эффективность работы газотурбинных двигателей и установок, а также паровых турбин зависит от герметичности уплотнения между вращающимися лопатками и внутренней поверхностью корпуса в вентиляторе, компрессоре и турбине. Одним из основных видов подобных уплотнений являются истираемые уплотнения, герметичность которых обеспечивается за счет прорезания выступами на торцах  
10 лопаток канавок в истираемом уплотнительном материале. Уплотнения турбин выполняют, например, используя плетеные металлические волокна, соты [патент США №5080934, МПК F01D 11/08, 427/271, 1991] или спеченные металлические частицы. Приработка этих уплотнений происходит за счет его высокой пористости и его низкой прочности. Последнее обуславливает невысокую эрозионную стойкость  
15 уплотнительных материалов, что приводит к быстрому износу уплотнения. В качестве прирабатываемых уплотнений в современных двигателях и установках используют также газотермические покрытия, имеющие, по сравнению с вышеописанными материалами, меньшую трудоемкость изготовления.

20 Известен способ изготовления прирабатываемого уплотнения турбомашин [патент США №4291089] методом газотермического напыления порошкового материала. При этом уплотнение формируется в виде покрытия, которое наносится непосредственно на кольцевой элемент корпуса турбомашин в зону уплотнения между корпусом и лопаткой.

25 Недостатком известного уплотнения является невозможность одновременного обеспечения высокой прирабатываемости и прочностных свойств уплотнения.

Известен также способ изготовления прирабатываемого уплотнения турбомашин [патент США №4936745] путем его формирования в виде высокопористого  
30 керамического слоя с пористостью от 20 до 35 объемных %.

Недостатком известного уплотнения является низкая эрозионная стойкость и прочность.

Известен также способ изготовления уплотнения турбомашин с прирабатываемым покрытием на статоре турбомашин (патент РФ №2033527, кл. F01D 11/08, опубл.  
35 20.04.1995). Уплотнение формируют путем соединения со старым слоем сотовой структуры. Однако гребешки на роторе при взаимодействии с сотовой структурой притупляются, что снижает герметичность уплотнения. Ячейки сотовой структуры могут иметь различные форму и размер площади поперечного сечения, глубину и  
40 толщину стенок. Сотовая структура может быть выполнена из стальной жаростойкой фольги, или сверлением, прожигом, травлением или литьем. При значительной толщине стенок ячеек сот условия работы гребешков ужесточаются. Сильный износ гребешков так или иначе связан с необоснованно высокой прочностью материалов, используемых для производства сот, а также методов их изготовления, вызывающих  
45 утолщение толщины стенок ячеек.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому является способ изготовления прирабатываемого уплотнения турбины, включающий формирование элемента уплотнения заданной формы и размеров путем  
50 спекания в пресс-форме порошка прирабатываемого материала в вакууме или защитной среде [патент РФ №2039631, МПК B22F 3/10, Способ изготовления истираемого материала, 1995]. Однако наличие в элементе сотовой структуры, выполненной из прочного материала, ведет к износу или повреждению гребешков.

Известный способ изготовления уплотнения предусматривает его выполнение в виде жестко соединенного со статором слоя сотовой структуры. При этом слой сотовой структуры может быть закреплен на элементе турбомашин методом сварки или пайки [например, патент РФ №2277637, МПК F01D 11/08, 2006 г.].

5 В этой связи задачей настоящего изобретения является создание уплотнения, выполненного из спеченного порошкового материала, имеющего столбчатую структуру с расположенной по границам этой столбчатой структуры армирующего сплошного каркаса, допускающего врезание в него выступов лопатки и снижающего их износ в процессе эксплуатации, что привело бы к дальнейшему повышению эффективности работы турбомашин.

10 Техническим результатом заявляемого изобретения является одновременное обеспечение высокой прирабатываемости, механической прочности и износостойкости уплотнения, а также снижения трудоемкости его изготовления по сравнению с существующими сотовыми уплотнениями.

15 Технический результат достигается тем, что в способе изготовления прирабатываемого уплотнения турбины с ориентированной структурой, включающем формирование элемента уплотнения заданной формы и размеров путем спекания в пресс-форме порошка прирабатываемого материала в вакууме или защитной среде, в отличие от прототипа спекание порошка прирабатываемого материала осуществляют в два этапа: на первом этапе из порошка прирабатываемого материала, связующего материала и металлической сетки формируют ленту с закрепленными на ней в поперечном направлении параллельно друг другу с заданными шагом и 20 промежутками между ними стержнями, путем подачи порошка прирабатываемого материала, связующего материала и металлической сетки в межвалковый зазор и в формочки, выполненные на поверхности валков, и прокаткой через нагретые валки, при этом осуществляют совместное спекание стержней и сеток, подаваемых с обеих 25 сторон формируемых стержней в междувалковый зазор при прокатке их через нагретые валки с формочками, имеющими формы и размеры, соответствующие формируемым стержням и нагретые до температуры, обеспечивающей спекание порошка прирабатываемого материала, причем шаг расположения формочек на валках обеспечивает заданные промежутки между стержнями в ленте и в этих 30 промежутках между стержнями происходит соединение между собой сеток при спекании, а на втором этапе складывают образованную ленту со стержнями в пресс-форму, ориентируя оси стержней по высоте формируемого элемента уплотнения, и формируют элемент уплотнения, спекая ленту со стержнями в пресс-форме до образования сплошного каркаса при спекании поверхностей стержней и ленты.

35 Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления прирабатываемого уплотнения турбины с ориентированной структурой в качестве прирабатываемого материала берут сплав состава, вес. %: Cr - от 10,0 до 18,0%, Mo - от 0,8 до 3,7%, Fe или Ti или Cu или их комбинации - остальное, или сплав состава, 40 вес. %: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное, или сплав состава, вес. %: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Co - от 16% до 30%; Ni - остальное, с размерами частиц порошка от 15 мкм до 180 мкм в механической смеси с порошковым, с размерами частиц порошка менее 1 мкм, 45 гексагональным нитридом бора - BN в количестве от 1,0% до 1,5% от общего объема смеси и фторидом кальция - CaF<sub>2</sub>, с размерами частиц порошка от 1 мкм до 25 мкм, в количестве от 6,0% до 8,0% от общего объема смеси, причем спекание частиц порошка прирабатываемого материала проводят при температуре от 1100 до 1200°С либо в 50

вакууме, либо в одной из следующих газовых сред: либо в среде аммиака, либо в среде смеси аргона и аммиака, либо в среде смеси водорода и азота, либо в среде смеси водорода, аргона и азота, причем в качестве смеси водорода и азота используют смесь в объемных %, состава: водород - от 65 до 75%, атомарный азот - от 2 до 5%,  
5   остальное азот, а в качестве смеси водорода, аргона и азота используют смесь, в объемных %, состава: водород - от 65 до 75%, атомарный азот - от 2 до 5%, остальное аргон.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления  
10   прирабатываемого уплотнения турбины с ориентированной структурой дополнительно в механическую смесь добавляют  $BaSO_4$  от 0,4% до 3% от общего объема смеси и/или Са от 0,01 до 0,2% от общего объема смеси, в виде порошка размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления  
15   прирабатываемого уплотнения турбины с ориентированной структурой используют металлическую сетку в виде ленты, выполненную из проволоки диаметром от 0,2 до 0,4 мм, с размерами ячеек от 0,5 мм до 2 мм, а ленту выполняют толщиной от 0,3 до 0,5 мм, а после образования ленты со стержнями поверхность стержней  
20   дополнительно оплавливают пламенем горелок или плазмой.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления  
прирабатываемого уплотнения турбины с ориентированной структурой стержни  
располагают либо под углом 90 градусов к основанию элемента уплотнения, либо с  
наклоном, совпадающим с направлением движения контртела, под углом от 45 до 89  
25   градусов к основанию элемента уплотнения, при этом стержни выполняют либо с круглым, либо с овальным сечениями, либо с сечением в виде многогранника, площадью сечения от 4 до 50 мм<sup>2</sup>, высотой, обеспечивающей формирование элемента уплотнения, а ширину сеток берут от 1,1 до 1,4 раза большей высоты формируемого  
30   элемента уплотнения, причем стержни в лентах размещают с промежутками между ними от 1 мм до 8 мм, а ленту со стержнями складывают в пресс-форму, послойно, располагая стержни в шахматном порядке.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления  
прирабатываемого уплотнения турбины с ориентированной структурой элементы  
35   выполняют в виде брусков, размерами и формой, обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашины, причем размеры элемента составляют: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм до 70 мм, высота от 5 мм до 50 мм и радиус кривизны по длине элемента, по его  
40   притираемой поверхности от 200 мм до 2500 мм, а в поперечном сечении основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть в виде прямоугольника.

Исследованиями авторов было установлено, что в определенных условиях  
возможно создание материала для уплотнений, обладающего, с одной стороны,  
достаточно высокими механической прочностью и износостойкостью, позволяющими  
45   изготавливать из него элементы уплотнений, не разрушающиеся в условиях эксплуатации, а с другой, обладать высокой прирабатываемостью. Совмещение высокой механической прочности и прирабатываемости в разработанном уплотнении объясняется, в частности, тем, что сплошной каркас, образованный спеканием между  
50   собой оболочек стержней. Для увеличения прочности оболочки стержней после образования ленты со стержнями поверхность стержней может быть дополнительно оплавлена пламенем горелок или плазмой. Каркас, полученный предлагаемым способом, обладает достаточно высокой прочностью, позволяющей удерживать

внутри каркаса наполнитель, образованный также спеканием частиц порошка между собой. В то же время данный каркас способен прирабатываться, поскольку он также получен из прирабатываемого порошкового материала путем его спекания. Такое функциональное разделение прирабатываемого элемента на прирабатываемую

5 (порошковый наполнитель с меньшей адгезией частиц) и несущую части (сплошной каркас, сформированный из спеченных лент) существенно увеличивает прочностные характеристики уплотнительного элемента. Трудоемкость способа получения прирабатываемого уплотнения с армирующим каркасом, полученным при спекании

10 лент, по сравнению с традиционными способами получения сотовых уплотнений значительно ниже, поскольку армирующий каркас образуется в результате спекания порошкового материала в пресс-форме.

Изобретение иллюстрируется чертежами, на которых изображено:

15 На фигуре 1 представлена схема формирования ленты со стержнями; на фиг.2(а, б): фиг.2а - лента со стержнями; фиг.2б - лента со стержнями, сложенная перед спеканием с шахматным расположением стержней; на фиг.3 - структура уплотнения после спекания ленты в пресс-форме и образовании элемента прирабатываемого уплотнения; на фиг.4 - готовый элемент уплотнения со столбчатой структурой. На

20 фигурах 1-4 обозначено: 1 - лента со стержнями; 2 - стержни; 3 - нагревательные элементы; 4 - формочки для стержней; 5 - валки с формочками для получения стержней; 6 - сетка; 7 - порошок прирабатываемого материала; 8 - питатель для подачи порошка; 9 - междувалковый зазор; 10 - места соединения сеток; 11 - пустоты; 12 - лента со стержнями, сложенная перед спеканием с шахматным расположением

25 стержней; 13 - каркас, полученный спеканием в пресс-форме ленты со стержнями; 14 - структура материала уплотнения после спекания в пресс-форме в сечении, параллельном основанию элемента уплотнения; 15 - готовый элемент уплотнения; 16 - верхняя часть элемента в виде прямоугольника; 17 - основание элемента в виде

30 трапеции.

Способ осуществляется следующим образом. Спекание порошка прирабатываемого материала для формирования элемента прирабатываемого осуществляют в два этапа. На первом этапе (фиг.1) изготавливают ленту 1 со стержнями 2, осуществляя одновременное формирование спеканием стержней 2

35 заданной формы и размеров и соединения стержней с сетками 6. Для этого (фиг.1) порошок прирабатываемого материала 7 из бункера-питателя 8 совместно с охватывающим порошок 7 с обеих сторон сетками 6 подаются в междувалковый зазор 9, образованный валками 5 с формочками 4, и в формочки 4, выполненные на

40 поверхности валков 5. При этом осуществляют совместное спекание стержней 2 и сеток 6 при прокатке через нагретые валки 5 с формочками 4, имеющими формы и размеры, соответствующие формируемому стержням 2 и нагретые до температуры, обеспечивающей спекание порошка прирабатываемого материала 7. Шаг

45 расположения формочек 4 на валках 5 обеспечивает заданные промежутки между стержнями 2, а стержни 2 могут формироваться либо за счет совпадения формочек 4 обоих валков 5 в их междувалковом зазоре 9, либо попеременно (с одного и другого валка 5), при сдвиге формочек 4 относительно друг друга на величину, равную половине шага. В последнем случае будут формироваться стержни, сечение которых

50 будет равно сечению формочки 4. В ленте 1 со стержнями 2 стержни 2 размещаются между наложенными друг на друга сетками 6. При этом стержни 2 располагаются на ленте 1 параллельно друг другу с заданными шагом и промежутками между ними. Стержни 2 располагают поперек ленты 1, закрепляют стержни 2, обжимая их с обеих

сторон сетками 6 с помощью валков 5, обеспечивая неразъемные соединения сеток 1 между собой в местах их контакта в промежутках между стержнями 2. При этом неразъемные соединения сеток 6 между собой в местах их контакта обеспечиваются их спеканием между собой при прохождении через валки 5, обеспечивающие  
 5 необходимое давление и температуру в межвалковой зоне 9 валков 5. На втором этапе сформированную ленту 1 со стержнями 2 (фиг.2а) помещают в пресс-форму, складывая образованную ленту 1 (фиг.2б), ориентируя оси стержней 2 по высоте формируемого элемента уплотнения 15 (фиг.4), и формируют элемент уплотнения 15,  
 10 спекая ленту 1 со стержнями в пресс-форме до образования сплошного каркаса 13 (фиг.3). В результате спекания в пресс-форме образуется элемент уплотнения 15 (фиг.4) с направленной столбчатой структурой по высоте элемента уплотнения 15 или сотовой структурой 14 (фиг.3), в сечении, параллельном основанию элемента 15. Элементы уплотнения 15 (фиг.4) могут быть выполнены в виде брусков, размерами и  
 15 формой, обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомшины. В поперечном сечении элемента 15 основание 17 элемента 15 выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть 16 в виде прямоугольника.

В качестве прирабатываемого материала берут сплав состава, вес. %: Cr - от 10,0 до 18,0%, Mo - от 0,8 до 3,7%, Fe или Ti или Cu или их комбинации - остальное, или сплав состава, вес. %: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное, или сплав состава, вес. %: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Co - от 16% до 30%; Ni - остальное, с размерами частиц порошка от 15  
 25 мкм до 180 мкм в механической смеси с порошковым, с размерами частиц порошка менее 1 мкм, гексагональным нитридом бора - BN в количестве от 1,0% до 1,5% от общего объема смеси и фторидом кальция - CaF<sub>2</sub>, с размерами частиц порошка от 1 мкм до 25 мкм, в количестве от 6,0% до 8,0% от общего объема смеси, причем  
 30 спекание частиц порошка прирабатываемого материала проводят при температуре от 1100 до 1200°C либо в вакууме, либо в одной из следующих газовых сред: либо в среде аммиака, либо в среде смеси аргона и аммиака, либо в среде смеси водорода и азота, либо в среде смеси водорода, аргона и азота, причем в качестве смеси водорода и азота используют смесь в объемных %, состава: водород - от 65 до 75%, атомарный  
 35 азот - от 2 до 5%, остальное азот, а в качестве смеси водорода, аргона и азота используют смесь, в объемных %, состава: водород - от 65 до 75%, атомарный азот - от 2 до 5%, остальное аргон. Стержни 10 располагают либо под углом 90 градусов к основанию элемента уплотнения 15, либо с наклоном, совпадающим с направлением  
 40 движения контртела, под углом от 45 до 89 градусов к основанию элемента уплотнения 15, при этом стержни 10 выполняют либо с круглым, либо с овальным сечениями, либо с сечением в виде многогранника, площадью сечения от 4 до 50 мм<sup>2</sup>, высотой, обеспечивающей формирование элемента уплотнения 15, а ширину лент 1 берут от 1,1 до 1,4 раза большей высоты формируемого элемента уплотнения 15, причем стержни 2 в лентах 1 размещают с промежутками между ними от 1 мм до 8 мм,  
 45 при этом ленту 1 со стержнями 2 складывают в пресс-форму, послойно, располагая стержни в шахматном порядке (фиг.2б).

Пример. В качестве материалов для получения элемента прирабатываемого  
 50 уплотнения использовался металлический порошок следующих составов: 1) [Cr - 9,0%, Mo - 0,6%, Fe - остальное] - неудовлетворительный результат (Н.Р.); 2) [Cr - 10,0%, Mo - от 0,8%, Fe - остальное] - удовлетворительный результат (У.Р.); 3) [Cr - 14,3%, Mo - 2,6%, Fe - остальное] - (У.Р.); 4) [Cr - 18,0%, Mo - 3,7%, Fe - остальное] - (У.Р.); 5)

[Cr - 8,0%, Mo - 0,7%, Ti - остальное] - (Н.Р.); 6) [Cr - 10,0%, Mo - от 0,8%, Ti - остальное] - (У.Р.); 7) [Cr - 14,3%, Mo - 2,6%, Ti - остальное] - (У.Р.); 8) [Cr - 18,0%, Mo - 3,7%, Ti - остальное] - (У.Р.); 9) [Cr - 9,0%, Mo - 0,7%, Cu - остальное] - (Н.Р.); 10) [Cr - 10,0%, Mo - от 0,8%, Cu - остальное] - (У.Р.); 11) [Cr - 15,2%, Mo - 2,4%, Cu - остальное] - (У.Р.); 12) [Cr - 18,0%, Mo - 3,7%, Cu - остальное] - (У.Р.); 13) [Cr - от 16%; Al - 2,5%; Y - от 0, 1%; Ni - остальное] - (Н.Р.); 14) [Cr - от 18%; Al - 3%; Y - 0, 2%; Ni - остальное]- (У.Р.); 15) [Cr - 34%; Al - 16%; Y - 0,7%; Ni - остальное] - (У.Р.); 16) [Cr - 16%; Al - от 2%; Y - 0, 1%; Co - 14%; Ni - остальное] - (Н.Р.); 17) Cr - 18%; Al - 3%; Y - 0, 2%; Co - 16%; Ni - остальное] - (У.Р.); 18) Cr - 34%; Al - 16%; Y - 0,7%; Co 30%; Ni - остальное] - (У.Р.).

Размеры частиц составляли величины: 10 мкм; 30 мкм; 63 мкм; 100 мкм; 160 мкм; 180 мкм. Наилучшие результаты при содержании фракций порошка размерами: менее 40 мкм - от 30% до 40%, от 40 мкм до 70 мкм - 40% до 50%, от 70 мкм до 140 мкм - 10% до 20%, более 140 мкм - остальное. Механическая смесь из металлического порошка состава, вес.%: Cr - от 10,0 до 18,0%, Mo - от 0,8 до 3,7%, Fe или Ti или Cu или их комбинации - остальное, или из сплава состава, вес.%: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0, 2% до 0,7%; Ni - остальное, или из сплава состава, вес.%: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0, 2% до 0,7%; Co - от 16% до 30%; Ni - остальное, содержала гексагональный нитрид бора (BN) размерами частиц порошка менее 1 мкм в количестве: 0,5% - (Н.Р.); 1,0% - (У.Р.); 1,5% - (У.Р.); 1,8% - (Н.Р.) и фторид кальция - CaF<sub>2</sub>, с размерами частиц порошка от 1 мкм до 25 мкм, в количестве от общего объема смеси: 5% - (Н.Р.); 6,0% - (У.Р.); 8,0% - (У.Р.); 9% - (Н.Р.). Кроме того, были использованы порошковые материалы вышеуказанных составов с дополнительными добавками следующих компонентов: 1) BaSO<sub>4</sub>: 0,4%; 1,2%; 3%. 2) Ca: 0,01%; 0,2%.

При формировании ленты использовалась металлическая сетка из нержавеющей стали (X18H10T). Использовалась сетка, выполненная из проволоки диаметрами: 0,1 мм - (Н.Р.); 0,2 мм - (У.Р.); 0,3 мм - (У.Р.); 0,4 мм - (У.Р.); 0,5 мм - (Н.Р.), с размерами ячеек: 0,4 мм - (Н.Р.); 0,5 мм - (У.Р.); 1,2 мм - (У.Р.); 2,0 мм - (У.Р.); 2,5 мм - (Н.Р.). Ленту выполняли толщинами: 0,2 мм - (Н.Р.); 0,3 мм - (У.Р.); 0,5 мм - (У.Р.); 0,8 мм - (Н.Р.).

Стержни выполняли сечениями: круглым, овальным, в виде многогранника, площадью сечения: 2 мм<sup>2</sup> - (Н.Р.); 4 мм<sup>2</sup> - (У.Р.); 24 мм<sup>2</sup> - (У.Р.); 50 мм<sup>2</sup> - (У.Р.); 70 мм<sup>2</sup> - (Н.Р.). Высота во всех случаях обеспечивала формирование элемента уплотнения. Ширина лент бралась от 1,1 до 1,4 раза большей высоты формируемого элемента уплотнения. Стержни в лентах размещали с промежутками между ними от 1 мм до 8 мм (0,5 мм - (Н.Р.); 1,0 мм - (У.Р.); 4,0 мм - (У.Р.); 8,0 мм - (У.Р.); 10,0 мм - (Н.Р.). При формировании элемента уплотнения двухслойную ленту со стержнями укладывали в пресс-форму, обеспечивая как шахматное, так и коридорное расположение стержней. Стержни располагали под углами 45, 60, 70, 89 и 90 градусов к основанию элемента уплотнения (углы менее 45 градусов - (Н.Р.). При этом наклон стержней совпадал (кроме угла 90 градусов) с направлением движения контртела (лопатки).

Размеры элемента прирабатываемого уплотнения составляли: длина: 20 мм; 50 мм; 100 мм; 200 мм; 500 мм; 700 мм; ширина: 10 мм; 20 мм; 40 мм; 70 мм; высота: 5 мм; 10 мм; 30 мм; 50 мм; радиус кривизны по длине элемента, по его притираемой поверхности: 200 мм; 400 мм; 1200 мм; 2300 мм; 2500 мм.

Элемент прирабатываемого уплотнения был изготовлен спеканием в вакууме, при остаточном давлении в камере не хуже 10<sup>-2</sup> мм рт.ст., а также в газовых средах смеси



водорода и азота состава: водород 55% - (Н.Р.); 65% - (У.Р.); 70% - (У.Р.); 75% - (У.Р.); 85% - (Н.Р.); атомарный азот: 0,5% - (Н.Р.); 2% - (У.Р.); 4% - (У.Р.); 5% - (У.Р.); 7% - (Н.Р.), остальное - азот, и газовых смесях водорода, аргона и азота состава: водород - 55% - (Н.Р.); 65% - (У.Р.); 70% - (У.Р.); 75% - (У.Р.); 85% - (Н.Р.); атомарный азот: 0,5% - (Н.Р.); 2% - (У.Р.); 4% - (У.Р.); 5% - (У.Р.); 7% - (Н.Р.), остальное аргон. Спекание лент и стержней производилось при температуре от 1100 до 1200°С [(от 1100°С до 1200°С)±100°С], в двухвалковых роторных пресс-формах. Давление прессования при изготовлении заготовок прирабатываемого уплотнения было равным: 40 кгс/мм<sup>2</sup>; 50 кгс/мм<sup>2</sup>; 60 кгс/мм<sup>2</sup>; 70 кгс/мм<sup>2</sup>. Механические свойства полученного материала составили: твердость НВ от 135 до 144;  $\sigma_B=28,7...36,5$  кгс/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_T=17,6...25,4$  кгс/мм<sup>2</sup>; ударная вязкость 1,16...1,59 кгм/см<sup>2</sup>. Результаты испытаний образцов уплотнений из разработанного материала в условиях эксплуатации показали сочетание высоких прочностных характеристик уплотнений, с хорошей прирабатываемостью.

Таким образом, использование в предлагаемом способе изготовления прирабатываемого уплотнения турбины с ориентированной структурой следующих признаков: формирование элемента уплотнения заданной формы и размеров путем спекания в пресс-форме порошка прирабатываемого материала в вакууме или защитной среде; при этом спекание порошка прирабатываемого материала осуществляют в два этапа: на первом этапе из порошка прирабатываемого материала, связующего материала и металлической сетки формируют ленту с закрепленными на ней в поперечном направлении параллельно друг другу с заданными шагом и промежутками между ними стержнями, путем подачи порошка прирабатываемого материала, связующего материала и металлической сетки в межвалковый зазор и в формочки, выполненные на поверхности валков, и прокаткой через нагретые валки, при этом осуществляют совместное спекание стержней и сеток, подаваемых с обеих сторон формируемых стержней в междувалковый зазор при прокатке их через нагретые валки с формочками, имеющими формы и размеры, соответствующие формируемым стержням и нагретые до температуры, обеспечивающей спекание порошка прирабатываемого материала, причем шаг расположения формочек на валках обеспечивает заданные промежутки между стержнями в ленте и в этих промежутках между стержнями происходит соединение между собой сеток при спекании, а на втором этапе складывают образованную ленту со стержнями в пресс-форму, ориентируя оси стержней по высоте формируемого элемента уплотнения, и формируют элемент уплотнения, спекая ленту со стержнями в пресс-форме до образования сплошного каркаса при спекании поверхностей стержней и ленты; использование в качестве прирабатываемого материала сплава состава, вес. %: Cr - от 10,0 до 18,0%, Mo - от 0,8 до 3,7%, Fe или Ti или Cu или их комбинации - остальное, или сплава состава, вес. %: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное, или сплава состава, вес. %: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Co - от 16% до 30%; Ni - остальное, с размерами частиц порошка от 15 мкм до 180 мкм в механической смеси с порошковым, с размерами частиц порошка менее 1 мкм, гексагональным нитридом бора - BN в количестве от 1,0% до 1,5% от общего объема смеси и фторидом кальция - CaF<sub>2</sub>, с размерами частиц порошка от 1 мкм до 25 мкм, в количестве от 6,0% до 8,0% от общего объема смеси, причем спекание частиц порошка прирабатываемого материала проводят при температуре от 1100 до 1200°С либо в вакууме, либо в одной из следующих газовых сред: либо в среде аммиака, либо в среде смеси аргона и аммиака, либо в среде смеси водорода и азота, либо в среде смеси водорода, аргона и азота, причем в качестве

смеси водорода и азота используют смесь в объемных %, состава: водород - от 65 до 75%, атомарный азот - от 2 до 5%, остальное азот, а в качестве смеси водорода, аргона и азота используют смесь, в объемных %, состава: водород - от 65 до 75%, атомарный азот - от 2 до 5%, остальное аргон; добавление дополнительно в механическую смесь  $BaSO_4$  от 0,4% до 3% от общего объема смеси и/или Ca от 0,01 до 0,2% от общего объема смеси, в виде порошка, размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм; использование металлической сетки в виде ленты, выполненной из проволоки диаметром от 0,2 до 0,4 мм, с размерами ячеек от 0,5 мм до 2 мм; выполнении ленты толщиной от 0,3 до 0,5 мм; после образования ленты со стержнями дополнительное оплавление поверхности стержней пламенем горелок или плазмой; расположение стержней либо под углом 90 градусов к основанию элемента уплотнения, либо с наклоном, совпадающим с направлением движения контртела, под углом от 45 до 89 градусов к основанию элемента уплотнения; выполнении стержней либо с круглым, либо с овальным сечениями, либо с сечением в виде многогранника, площадью сечения от 4 до 50 мм<sup>2</sup>, высотой, обеспечивающей формирование элемента уплотнения; использование лент шириной от 1,1 до 1,4 раза большей высоты формируемого элемента уплотнения; размещение стержней в лентах с промежутками между ними от 1 мм до 8 мм; складывание в пресс-форму двухслойной ленты со стержнями, послойно, располагая стержни в шахматном порядке; выполнение элементов в виде брусков, размерами и формой, обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашин; использование размеров элемента: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм до 70 мм, высота от 5 мм до 50 мм и радиус кривизны по длине элемента, по его притираемой поверхности от 200 мм до 2500 мм; выполнение в поперечном сечении основания элемента в виде трапеции, а его верхней части в виде прямоугольника, позволяет достичь технического результата заявляемого изобретения, которым является одновременное обеспечение высокой прирабатываемости, механической прочности и износостойкости уплотнения, а также снижения трудоемкости его изготовления по сравнению с существующими сотовыми уплотнениями.

#### Формула изобретения

1. Способ изготовления прирабатываемого уплотнения турбины с ориентированной структурой, включающий формирование элемента уплотнения заданной формы и размеров путем спекания в пресс-форме порошка прирабатываемого материала в вакууме или защитной среде, отличающийся тем, что спекание порошка прирабатываемого материала осуществляют в два этапа, причем на первом этапе из порошка прирабатываемого материала, связующего материала и металлической сетки формируют ленту с закрепленными на ней в поперечном направлении параллельно друг другу с заданными шагом и промежутками между ними стержнями, путем подачи порошка прирабатываемого материала, связующего материала и металлической сетки в межвалковый зазор и в формочки, выполненные на поверхности валков, и прокатки через нагретые валки, при этом осуществляют совместное спекание стержней и сеток, подаваемых с обеих сторон формируемых стержней в межвалковый зазор при прокатке их через нагретые валки с формочками, имеющими формы и размеры, соответствующие формируемым стержням и нагретые до температуры, обеспечивающей спекание порошка прирабатываемого материала, причем шаг расположения формочек на валках обеспечивает заданные промежутки между стержнями в ленте, и в этих промежутках между стержнями происходит

соединение между собой сеток при спекании, а на втором этапе складывают образованную ленту со стержнями в пресс-форму, ориентируют оси стержней по высоте формируемого элемента уплотнения и формируют элемент уплотнения путем спекания ленты со стержнями в пресс-форме до образования сплошного каркаса при спекании поверхностей стержней и ленты.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве прирабатываемого материала используют сплав состава, вес. %: Cr - от 10,0 до 18,0, Mo - от 0,8 до 3,7, Fe, или Ti, или Cu, или их комбинации - остальное, или сплав состава, вес. %: Cr - от 18 до 34; Al - от 3 до 16; Y - от 0,2 до 0,7; Ni - остальное, или сплав состава, вес. %: Cr - от 18 до 34; Al - от 3 до 16; Y - от 0,2 до 0,7; Co - от 16 до 30; Ni - остальное, с размерами частиц порошка от 15 мкм до 180 мкм в механической смеси с порошком, с размерами частиц порошка менее 1 мкм, гексагональным нитридом бора - BN в количестве от 1,0% до 1,5% от общего объема смеси и фторидом кальция - CaF<sub>2</sub>, с размерами частиц порошка от 1 мкм до 25 мкм, в количестве от 6,0% до 8,0% от общего объема смеси, причем спекание частиц порошка прирабатываемого материала проводят при температуре от 1100 до 1200°С в вакууме или в одной из следующих газовых сред: аммиак, смесь аргона и аммиака, смесь водорода и азота, смесь водорода, аргона и азота.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что в качестве смеси водорода и азота используют смесь, об. %, состава: водород - от 65 до 75, атомарный азот - от 2 до 5, остальное - азот, а в качестве смеси водорода, аргона и азота используют смесь, об. %, состава: водород - от 65 до 75, атомарный азот - от 2 до 5, остальное - аргон.

4. Способ по п.2, отличающийся тем, что дополнительно в механическую смесь добавляют BaSO<sub>4</sub> от 0,4% до 3% от общего объема смеси в виде порошка, размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм.

5. Способ по п.3, отличающийся тем, что дополнительно в механическую смесь добавляют BaSO<sub>4</sub> от 0,4% до 3% от общего объема смеси в виде порошка, с размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм.

6. Способ по п.2, отличающийся тем, что дополнительно в механическую смесь добавляют Ca от 0,01% до 0,2% от общего объема смеси в виде порошка, с размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм.

7. Способ по п.3, отличающийся тем, что дополнительно в механическую смесь добавляют Ca от 0,01% до 0,2% от общего объема смеси в виде порошка, размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм.

8. Способ по п.4, отличающийся тем, что дополнительно в механическую смесь добавляют Ca от 0,01% до 0,2% от общего объема смеси в виде порошка, размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм.

9. Способ по п.4, отличающийся тем, что дополнительно в механическую смесь добавляют Ca от 0,01% до 0,2% от общего объема смеси в виде порошка, размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм.

10. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что используют металлическую сетку в виде ленты, выполненной из проволоки диаметром от 0,2 мм до 0,4 мм, с размерами ячеек от 0,5 мм до 2 мм, ленту выполняют толщиной от 0,3 мм до 0,5 мм, а после образования ленты со стержнями поверхность стержней дополнительно оплавливают пламенем горелок или плазмой.

11. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что стержни располагают под углом 90° к основанию элемента уплотнения или с наклоном, совпадающим с направлением движения контртела, под углом от 45 до 89° к основанию элемента

уплотнения.

12. Способ по п.10, отличающийся тем, что стержни располагают под углом  $90^\circ$  к основанию элемента уплотнения или с наклоном, совпадающим с направлением движения контртела, под углом от  $45^\circ$  до  $89^\circ$  к основанию элемента уплотнения.

13. Способ по любому из пп.1-9, 12, отличающийся тем, что стержни выполняют с круглым или с овальным сечениями, или с сечением в виде многогранника, площадью сечения от  $4 \text{ мм}^2$  до  $50 \text{ мм}^2$ , высотой, обеспечивающей формирование элемента уплотнения, а ширину сетки берут от 1,1 до 1,4 раза большей высоты формируемого элемента уплотнения, причем стержни в лентах размещают с промежутками между ними от 1 мм до 8 мм, а ленту со стержнями складывают в пресс-форму, послойно, располагая стержни в шахматном порядке.

14. Способ по п.10, отличающийся тем, что стержни выполняют с круглым или с овальным сечениями, или с сечением в виде многогранника, площадью сечения от  $4 \text{ мм}^2$  до  $50 \text{ мм}^2$ , высотой, обеспечивающей формирование элемента уплотнения, а ширину сетки берут от 1,1 до 1,4 раза большей высоты формируемого элемента уплотнения, причем стержни в лентах размещают с промежутками между ними от 1 мм до 8 мм, а ленту со стержнями складывают в пресс-форму, послойно, располагая стержни в шахматном порядке.

15. Способ по п.11, отличающийся тем, что стержни выполняют с круглым или с овальным сечениями, или с сечением в виде многогранника, площадью сечения от  $4 \text{ мм}^2$  до  $50 \text{ мм}^2$ , высотой, обеспечивающей формирование элемента уплотнения, а ширину сетки берут от 1,1 до 1,4 раза большей высоты формируемого элемента уплотнения, причем стержни в лентах размещают с промежутками между ними от 1 мм до 8 мм, а ленту со стержнями складывают в пресс-форму, послойно, располагая стержни в шахматном порядке.

16. Способ по любому из пп.1-9, 12, 14, 15, отличающийся тем, что элементы выполняют в виде брусков, размеры и форма которых обеспечивают при их соединении в кольцо формирование полного торцевого уплотнения турбомашин.

17. Способ по п.10, отличающийся тем, что элементы выполняют в виде брусков, размеры и форма которых обеспечивают при их соединении в кольцо формирование полного торцевого уплотнения турбомашин.

18. Способ по п.11, отличающийся тем, что элементы выполняют в виде брусков, размеры и форма которых обеспечивают при их соединении в кольцо формирование полного торцевого уплотнения турбомашин.

19. Способ по п.13, отличающийся тем, что элементы выполняют в виде брусков, размеры и форма которых обеспечивают при их соединении в кольцо формирование полного торцевого уплотнения турбомашин.

20. Способ по любому из пп.1-9, 12, 14, 15, 17-19, отличающийся тем, что размеры элемента составляют: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм до 70 мм, высота от 5 мм до 50 мм и радиус кривизны по длине притираемой поверхности элемента от 200 мм до 2500 мм.

21. Способ по п.11, отличающийся тем, что размеры элемента составляют: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм до 70 мм, высота от 5 мм до 50 мм и радиус кривизны по длине притираемой поверхности элемента от 200 мм до 2500 мм.

22. Способ по п.13, отличающийся тем, что размеры элемента составляют: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм до 70 мм, высота от 5 мм до 50 мм и радиус кривизны по длине притираемой поверхности элемента от 200 мм до 2500 мм.

23. Способ по любому из пп.1-9, 12, 14, 15, 17-19, 21, 22, отличающийся тем, что в

его поперечном сечении основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть - в виде прямоугольника.

24. Способ по п.10, отличающийся тем, что в его поперечном сечении основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть - в виде прямоугольника.

5

25. Способ по п.13, отличающийся тем, что в его поперечном сечении основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть - в виде прямоугольника.

10

15

20

25

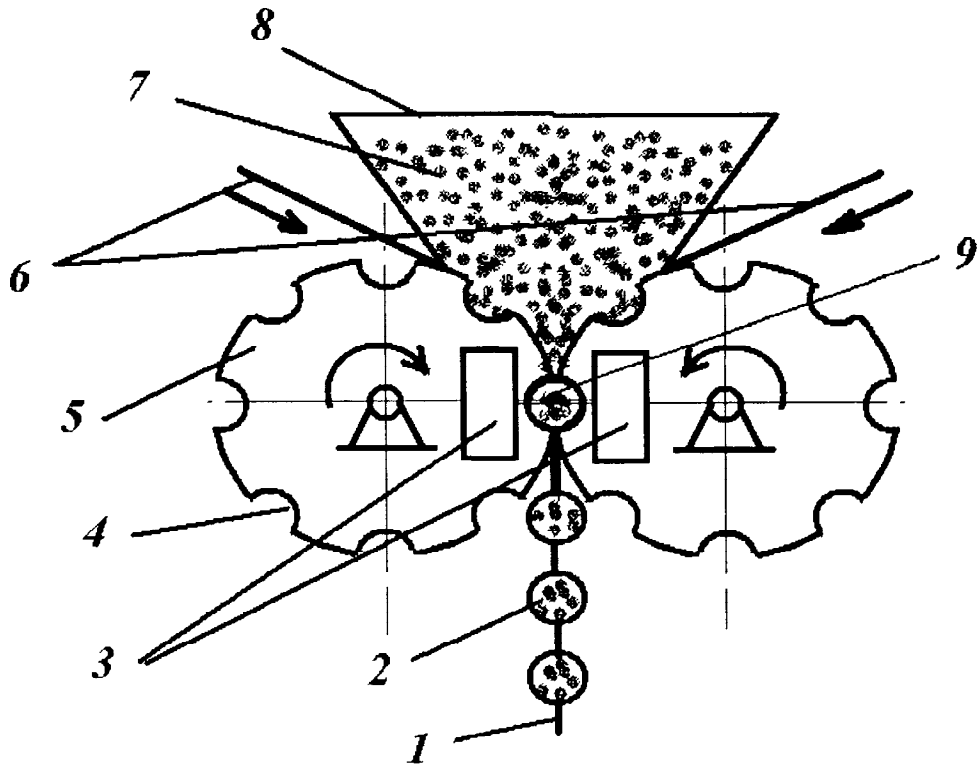
30

35

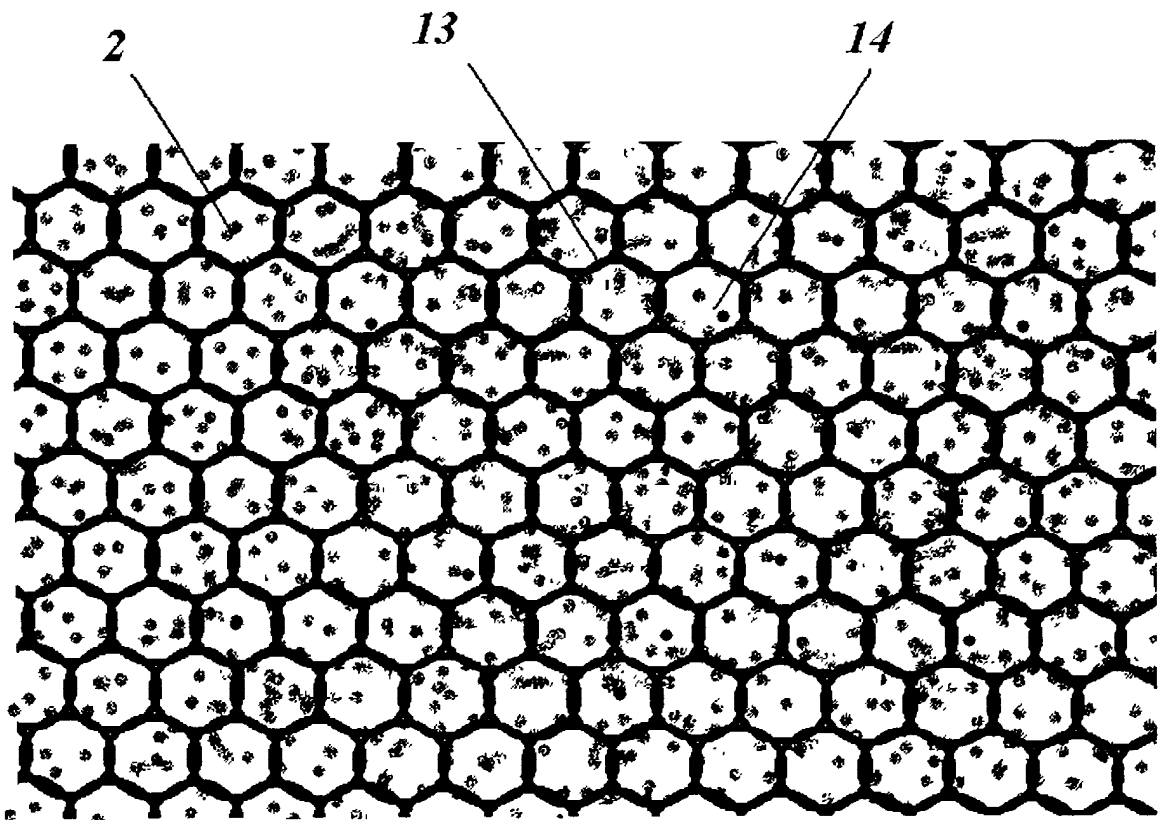
40

45

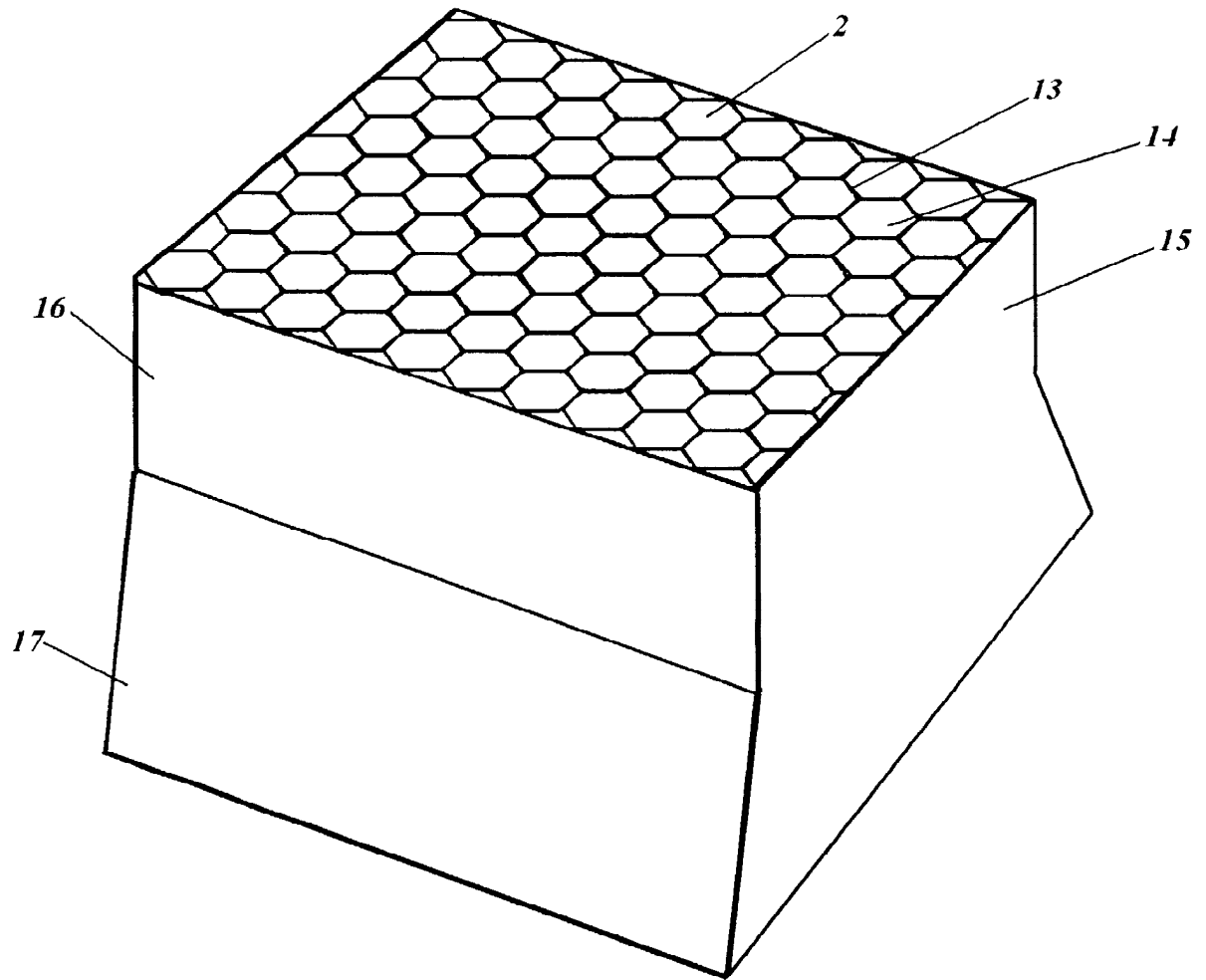
50



Фиг.1



Фиг.3



Фиг.4