



(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: 2011126438/02, 27.06.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 27.06.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.06.2011

(45) Опубликовано: 20.09.2012 Бюл. № 26

(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, Республика Башкортостан, 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  
 МНОГОСЛОЙНОЙ ОБОЛОЧКОЙ**

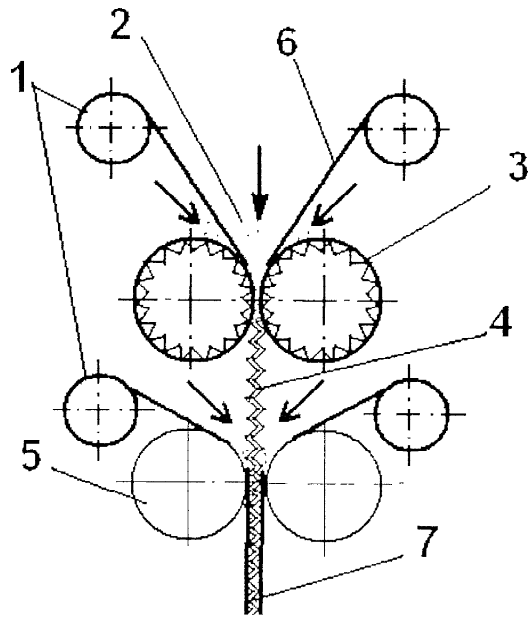
(57) Реферат:

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 прессования порошка прирабатываемого материала в два этапа и спекания в вакууме или защитной среде. На первом этапе формируют многослойную армированную ленту, при этом вначале формируют внутреннюю гофрированную ленту путем подачи порошка прирабатываемого материала и металлической сетки в виде ленты в межвалковый зазор и прокатки через первую пару валков с оребренной поверхностью.

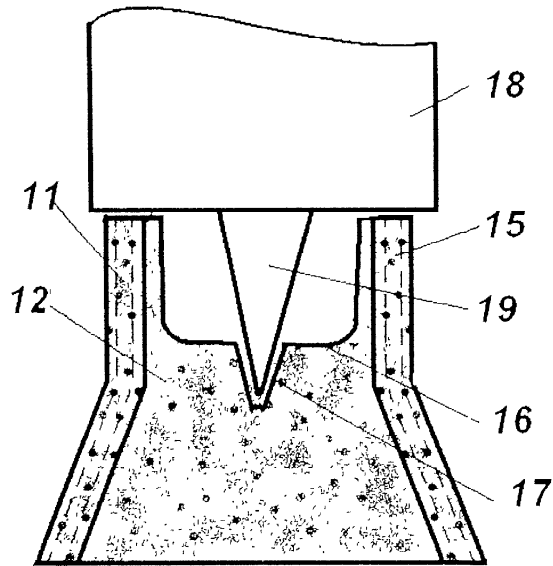
Внутреннюю гофрированную ленту прокатывают через вторую пару валков с гладкой поверхностью. По обе стороны внутренней гофрированной ленты подают металлические сетки в виде лент и порошок прирабатываемого материала. Полученную многослойную армированную ленту раскраивают, расстилают внутри пресс-формы, обеспечивая покрытие раскрытым отрезком многослойной армированной ленты всей или только боковых рабочих поверхностей пресс-формы, заполняют пресс-форму порошком и формируют заготовку уплотнения. Полученный элемент обеспечивает одновременно высокую прирабатываемость, механическую прочность и износостойкость уплотнения. 24 з.п. ф-лы, 10 ил., 1 пр.

RU 2 461 449 C1

RU 2 461 449 C1



Фиг.1



Фиг.9



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: **2011126438/02, 27.06.2011**  
(24) Effective date for property rights:  
**27.06.2011**  
Priority:  
(22) Date of filing: **27.06.2011**  
(45) Date of publication: **20.09.2012 Bull. 26**  
Mail address:  
**450081, Respublika Bashkortostan, 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 SEAL WITH MULTILAYER SHELL**

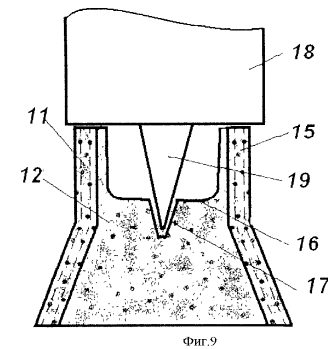
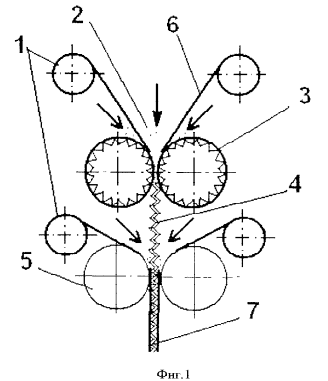
(57) Abstract:

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 in vacuum or protective medium. At first step, multilayer reinforced strip is made. Note here that, first, inner corrugated strip is produced by feeding run-in material powder and metal meshed tape in clearance between rolls and rolling it through first two ribbed rolls. Then, inner corrugated strip is rolled through second two second rolls. Metal meshed tapes and run-in material powder are fed on both sides of inner corrugated strip. Produced multilayer reinforced strip is cut out, laid inside the mould to be filled with powder and moulded the seal blank.

EFFECT: higher run-in properties, mechanical strength and wear resistance.

25 cl, 9 dwg, 1 ex



RU 2 4 6 1 4 4 9 C 1

RU 2 4 6 1 4 4 9 C 1

Изобретение относится к машиностроению, в частности к способам изготовления уплотнений заборов 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 N 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 об. %.

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 статором слоя 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 прессования порошка прирабатываемого материала в пресс-форме до образования формоустойчивой заготовки с последующим спеканием образованной заготовки 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

В этой связи задачей настоящего изобретения является создание уплотнения, выполненного из спеченного порошкового материала, имеющего многослойный армирующий внешний каркас, обеспечивающий повышение механической прочности уплотнения, допускающий врезание в него выступов лопатки и снижение их износа в процессе эксплуатации, что привело бы к дальнейшему повышению эффективности работы турбомашин.

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

Технический результат достигается тем, что в способе изготовления прирабатываемого уплотнения турбины с многослойной оболочкой, включающем формирование элемента уплотнения заданной формы и размеров путем прессования порошка прирабатываемого материала в пресс-форме до образования формоустойчивой заготовки с последующим спеканием образованной заготовки в вакууме или защитной среде, в отличие от прототипа прессование порошка прирабатываемого материала осуществляют, по крайней мере в два этапа: на первом этапе формируют многослойную армированную ленту, для чего вначале формируют внутреннюю гофрированную ленту путем подачи порошка прирабатываемого материала и, по крайней мере, одной металлической сетки в виде ленты в межвалковый зазор, прокаткой через первую пару валков с оребренной, в соответствии с получаемыми гофрами на внутренней гофрированной ленте поверхностью, а затем образованную внутреннюю гофрированную ленту прокатывают через вторую пару валков с гладкой поверхностью, причем по обе стороны внутренней гофрированной ленты подают металлические сетки в виде лент и дополнительный порошок прирабатываемого материала, а на втором этапе раскраивают полученную многослойную армированную ленту согласно площади рабочей поверхности пресс-формы, расстилают раскроенный отрезок многослойной армированной ленты внутри пресс-формы, обеспечивая покрытие раскроенным отрезком многослойной армированной ленты либо всей, либо только боковых рабочих поверхностей пресс-формы, затем заполняют пресс-форму порошком прирабатываемого материала и формируют заготовку уплотнения соединяя частицы порошка прирабатываемого материала между собой и многослойной армированной лентой путем прессования.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления прирабатываемого уплотнения турбины с многослойной оболочкой в качестве прирабатываемого материала берут сплав состава, в 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, в вес. %: Cr - от 18 до 34%; Al - от 3 до 16%; Y - от 0,2 до 0,7%; Ni - остальное или сплав состава, в 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 -  $\text{CaF}_2$ , с размерами частиц порошка от 1 мкм до 25 мкм, в количестве от 6,0 до 8,0% от общего объема смеси, причем спекание части порошка прирабатываемого материала проводят при температуре от 1100 до 1200°C либо в вакууме, либо в одной из следующих в 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 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, в об.%, состава: водород - от 65 до 75%, атомарный азот - от 2 до 5%, остальное аргон.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления прирабатываемого уплотнения турбины с многослойной оболочкой дополнительно в механическую смесь добавляют  $\text{BaSO}_4$  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 части от 1 мкм до 25 мкм.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления прирабатываемого уплотнения турбины с многослойной оболочкой, при формировании многослойной армированной ленты в порошок прирабатываемого материала дополнительно добавляют связующее, а после каждой прокатки на валках производят индукционный нагрев формируемой армированной ленты до температуры спекания частиц прирабатываемого материала, причем используют металлическую сетку, 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 3,5 мм, причем в качестве материала сетки используют либо медь или медные сплавы, либо нержавеющей сталь, либо сплавы на основе никеля или кобальта, а на внутренней гофрированной ленте выполняют гофры высотой от 1 мм до 4 мм и шагом от 1 мм до 6 мм.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления прирабатываемого уплотнения турбины с многослойной оболочкой элементы выполняют в виде брусков, размерами и формой обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомшины, 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 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 прирабатываемых уплотнений, обладающих, с одной стороны, достаточно высокими, обеспечивающими заданные функции в условиях эксплуатации механической прочностью и износостойкостью, а с другой - обладать высокой прирабатываемостью. Совмещение высокой механической прочности и прирабатываемости в разработанном уплотнении объясняется, в частности, тем, что внешняя оболочка-каркас, выполненная из многослойной армированной ленты, содержащей соединенные между собой частицы порошка прирабатываемого материала и сеток, служит в спеченном уплотнении для придания ему необходимой механической прочности без ущерба к свойствам прирабатываемости. Для увеличения прочности оболочки уплотнения ее изготавливают отдельно, обеспечивая формирование многослойной армированной ленты, причем с гофрированной лентой посередине. В то же время армированная оболочка, полученная спеканием из частиц прирабатываемого материала и сетки, обладает свойствами прирабатываемости, что обеспечивает минимальный износ контактирующей с уплотнением лопатки. Оболочка

уплотнения, полученная предлагаемым способом, обладает достаточно высокой механической прочностью, позволяющей удерживать внутри себя наполнитель, также образованный спеканием частиц порошка между собой, но имеющий более низкую адгезионную прочность, чем армированная оболочка. Такое функциональное  
 5 разделение прирабатываемого элемента на прирабатываемую (порошковый наполнитель с меньшей адгезией частиц) и несущую части (оболочка, сформированная из армированной многослойной ленты) существенно увеличивают прочностные  
 10 характеристики уплотнительного элемента. Трудоемкость способа получения прирабатываемого уплотнения с оболочкой по сравнению с традиционными способами получения сотовых уплотнений значительно ниже, поскольку оболочка образуется в результате спекания порошкового материала в валках.

Изобретение иллюстрируется рисунками, на которых изображено:

на фигуре 1 представлена схема формирования многослойной армированной ленты без предварительного спекания; на фигуре 2 - схема формирования многослойной армированной ленты с предварительным спеканием с использованием индукторов; на  
 15 фиг.3 - сечение пресс-формы (матрицы) с конфигурацией элемента прирабатываемого уплотнения; на фиг.4 - пресс-форма с расположенной внутри армированной лентой (оболочкой); на фиг.5 - пресс-форма с армированной лентой и порошковым  
 20 уплотнительным материалом; на фиг.6 - процесс прессования элемента прирабатываемого уплотнения с армированной оболочкой; на фиг.7 - спеченный элемент уплотнения с армированной оболочкой; на фиг.8 - элемент уплотнения с рабочим пазом; на фиг.9 - элемент прирабатываемого уплотнения с армированной  
 25 оболочкой в процессе эксплуатации в контакте с лопаткой; на фиг.10 - многослойная армированная лента, разрезанная на элементы армированной оболочки.

На фигурах 1-10 обозначено: 1 - барабаны с сеткой; 2 - исходный порошок прирабатываемого материала; 3 - первая пара валков (с оребренной поверхностью);  
 30 4 - гофрированная лента; 5 - вторая пара валков (с гладкой поверхностью); 6 - сетка в виде ленты; 7 - армированная многослойная лента; 8 - индуктор; 9 - рабочая поверхность пресс-формы; 10 - пресс-форма; 11 - элементы армированной оболочки уплотнения; 12 - порошковый прирабатываемый материал; 13 - пуансон пресс-формы; 14 - рабочий паз уплотнения; 15 - стенки рабочего паза уплотнения; 16 - дно  
 35 рабочего паза уплотнения; 17 - область врезания выступающей части лопатки (канавка); 18 - лопатка; 19 - выступающая часть (гребешок) лопатки; 20 - линия разреза многослойной армированной ленты на элементы армированной оболочки; R - радиус кривизны элемента уплотнения. Стрелками показано направление вращения валков и барабана. Незакрашенной стрелкой - направление прессования.

Способ осуществляется следующим образом. Вначале формируют формоустойчивую заготовку элемента уплотнения путем прессования порошка прирабатываемого материала, которое осуществляют, по крайней мере, в два этапа. На первом этапе (фиг.1 и фиг.2) формируют многослойную армированную ленту 7,  
 45 для чего вначале формируют внутреннюю гофрированную ленту 4 путем подачи порошка прирабатываемого материала 2 и, по крайней мере, одной металлической сетки 6 в виде ленты в межвалковый зазор, прокаткой через первую пару валков 3 с оребренной, в соответствии с получаемыми гофрама на внутренней гофрированной  
 50 лепте 4 поверхностью. Затем образованную внутреннюю гофрированную ленту 4 прокатывают через вторую пару валков 5 с гладкой поверхностью (которая может быть снабженной ножами для резки ленты 7), причем по обе стороны внутренней гофрированной ленты 4 подают металлические сетки 6 в виде лент и дополнительный

порошок прирабатываемого материала 2. В результате прохождения внутренней гофрированной ленты 4, порошка прирабатываемого материала 2 и двух дополнительных сеток 6 в виде лент образуется многослойная армированная лента 7. Для придания большей прочности формируемой многослойной армированной лоты 7 (фиг.2) используются индукторы 8, с помощью которых ее разогревают до 5 необходимой температуры и производят частичное или полное спекание частиц порошка прирабатываемого материала 2. На втором этапе раскраивают полученную многослойную армированную ленту 7 (например, пропуская через валки 5 с ножами) 10 согласно площади рабочей поверхности пресс-формы 10 (фиг.3), расстилают раскрытый отрезок 11 (фиг.4) многослойной армированной ленты 7 внутри пресс-формы 10, обеспечивая покрытие раскрытым отрезком 11 многослойной армированной ленты 7 либо всей, либо только боковых рабочих поверхностей пресс-формы 10. Затем (фиг.5) заполняют пресс-форму 10 порошком прирабатываемого материала 12 и формируют (фиг.6) заготовку уплотнения, соединяя частицы порошка прирабатываемого материала 12 между собой и многослойной армированной лентой 7 путем прессования пуансоном 13. В результате прессования в пресс-форме 10 образуется элемент уплотнения с многослойной армированной оболочкой 11 (фиг.7). 20 Затем заготовку элемента уплотнения (фиг.7) подвергают спеканию в защитной среде или в вакууме. Спеченный элемент уплотнения (фиг.8) может быть выполнен в виде брусков, размерами и формой обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашины. В поперечном сечении элемента основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть в виде 25 прямоугольника (фиг.8). Для повышения надежности работы уплотнения в нем формируют рабочий паз 14 (фиг.8), при этом образуются стенки паза 15, которые также выполняют роль дополнительных контактных поверхностей к системе «уплотнение-лопатка». В процессе эксплуатации (фиг.9) гребешок 19 лопатки 18 врезается в поверхность рабочего паза 16, на которой образуется канавка 17. При этом стенки рабочего паза уплотнения 15 также взаимодействуют с поверхностью лопатки 18 и создают дополнительный эффект уплотнения. Для повышения 30 производительности разрезки (фиг.10) многослойной армированной ленты 7 на элементы оболочки 11 разрезку производят по радиусу R, равному радиусу кривизны 35 дна пресс-формы 10 ножами, которые, например, расположены на поверхности торой пары валков 5.

В качестве прирабатываемого материала берут сплав состава, в 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 40 сплав состава, в вес.%. Cr - от 18 до 34%; Al - от 3 до 16%; Y - от 0,2 до 0,7%; Ni - остальное или сплав состава, в 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 45 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 50 в среде смеси аргона и аммиака, либо в среде смеси водорода и азота, либо в среде смеси водорода, аргона и азота, причем к качеству смеси водорода и азота используют смесь в 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, в



об.%, состава: водород - от 65 до 75%, атомарный азот - от 2 до 5%, остальное - аргон.

Пример. В качестве материалов для получения элемента прирабатываемого 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 - от 10% до 20%, более 140 мкм - остальное. Механическая смесь из металлического порошка состава, в 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, в вес.%: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%); Y - от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное или из сплава состава, в 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 использовались металлические сетки, изготовленные из нержавеющей стали, латуни, меди, никелевого и кобальтового сплавов. Использовались сетки, выполненные 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 формировали используя одну, две, три и четыре сетки. При использовании двух или более сеток, порошок прирабатываемого материала подавали в пространство между сетками. Ленту выполняли толщинами: 0,2 мм - (Н.Р.); 0,3 мм - (У.Р.); 0,5 мм - (У.Р.); 1,5 мм - (У.Р.); 2,5 мм - (У.Р.); 3,5 мм - (У.Р.); 5,0 мм - (Н.Р.). Величина гофр на внутренней ленте составляла: высота гофр: 1 мм; 3 мм; 4 мм; шаг расположения гофр: 1 мм; 2 мм; 4 мм; 6 мм.

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.

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>.

Элемент прирабатываемого уплотнения был изготовлен спеканием в вакууме, при остаточном давлении в камере не хуже  $10^{-2}$  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.

Механические свойства полученного материала составили: твердость НВ от 130 до 147;

$\sigma_B=26,9...37,5$  кгс/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_T=16,6...26,8$  кгс/мм<sup>2</sup>; ударная вязкость 1,11...1,61 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 армированной оболочкой, следующих признаков: формирование элемента уплотнения заданной формы и размеров путем прессования порошка прирабатываемого материала в пресс-форме по образования формоустойчивой заготовки с последующим спеканием образованной заготовки в вакууме или защитной среде; прессование порошка прирабатываемого материала осуществляют, по крайней мере, в два этапа: на первом этапе формируют многослойную армированную ленту, для чего вначале формируют внутреннюю гофрированную ленту путем подачи порошка прирабатываемого материала и, по крайней мере, одной металлической сетки в виде ленты в межвалковый зазор, прокаткой через первую пару валков с оребренной, в соответствии с получаемыми гофрами на внутренней гофрированной ленте поверхностью; затем образованную внутреннюю гофрированную ленту прокатывают через вторую пару валков с гладкой поверхностью; но обе стороны внутренней гофрированной ленты подают металлические сетки в виде лент и дополнительный порошок прирабатываемого материала; раскраивают полученную многослойную армированную ленту согласно площади рабочей поверхности пресс-формы; расстилают раскроенный отрезок многослойной армированной ленты внутри пресс-формы, обеспечивая покрытие раскроенным отрезком многослойной армированной ленты либо всей, либо только боковых рабочих поверхностей пресс-формы; заполняют пресс-форму порошком прирабатываемого материала; формируют заготовку уплотнения соединяя частицы порошка прирабатываемого материала между собой и многослойной армированной лентой путем прессования; использование в качестве прирабатываемого материала сплава состава, в 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, в вес. %: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное или сплава состава, в 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 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, в об.%, 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 лепты, выполненной из проволоки диаметром от 0,2 до 0,4 мм, с размерами ячеек от 0,5 мм до 2 мм; на внутренней гофрированной ленте выполняют гофры высотой от 1 мм до 4 мм и шагом от 1 мм до 6 мм; использование в качестве материала сетки либо меди или медных сплавов, либо нержавеющей стали, либо сплавов на основе никеля или кобальта; выполнении ленты толщиной от 0,3 до 3,5 мм; 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 основание элемента в виде трапеции, а его верхнюю часть в виде прямоугольника, позволяют 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 многослойной оболочкой, включающий формирование элемента уплотнения заданной формы и размеров путем прессования порошка прирабатываемого материала в пресс-форме до образования формоустойчивой заготовки с последующим спеканием образованной заготовки в вакууме или защитной среде, отличающийся тем, что прессование порошка прирабатываемого материала осуществляют по крайней мере в два этана, при этом на первом этапе формируют многослойную армированную ленту, для чего вначале формируют внутреннюю гофрированную ленту путем подачи порошка прирабатываемого материала и по крайней мере одной металлической сетки в виде ленты в межвалковый зазор, прокатки через первую пару валков с оребренной, в соответствии с получаемыми гофрами на внутренней гофрированной ленте, поверхностью, а затем образованную внутреннюю гофрированную ленту прокатывают через вторую пару валков с гладкой поверхностью, причем по обе стороны внутренней гофрированной ленты подают металлические сетки в виде лент и дополнительный порошок прирабатываемого материала, а на втором этапе раскраивают полученную многослойную армированную ленту согласно площади рабочей поверхности пресс-формы, расстилают раскроенный отрезок многослойной армированной ленты внутри пресс-формы с обеспечением покрытия раскроенным отрезком многослойной армированной ленты всей или только боковых рабочих поверхностей пресс-формы, затем заполняют пресс-форму порошком прирабатываемого материала и формируют заготовку уплотнения, соединяя частицы порошка прирабатываемого материала между собой и многослойной армированной лентой путем прессования.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что 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 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°C в вакууме или в одной из следующих газовых сред: аммиака, смеси аргона и аммиака, смеси водорода и азота, смеси водорода, аргона и азота.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что в качестве смеси водорода и азота используют смесь состава, об. %: водород - от 65 до 75%, атомарный азот - от 2 до 5%, остальное - азот, а в качестве смеси водорода, аргона и азота используют смесь состава, об. %: 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 с 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 с 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 с 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 с размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм.

10. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что при формировании многослойной армированной ленты в порошок прирабатываемого материала дополнительно добавляют связующее, а после каждой прокатки на валках производят индукционный нагрев формируемой армированной ленты до температуры спекания частиц прирабатываемого материала.

11. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что используют металлическую сетку, 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 3,5 мм, причем в качестве материала сетки используют медь или медные сплавы, или нержавеющей сталь, или сплавы на основе никеля или кобальта.

12. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что на внутренней гофрированной ленте выполняют гофры высотой от 1 мм до 4 мм и шагом от 1 мм до 6 мм.

13. Способ по п.11, отличающийся тем, что на внутренней гофрированной ленте выполняют гофры высотой от 1 мм до 4 мм и шагом от 1 мм до 6 мм.

14. Способ по любому из пп.1-9, 13, отличающийся тем, что элементы выполняют в виде брусков размерами и формой, обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашины.

5 15. Способ по п.10, отличающийся тем, что элементы выполняют в виде брусков размерами и формой, обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашины.

10 16. Способ по п.11, отличающийся тем, что элементы выполняют в виде брусков размерами и формой, обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашины.

17. Способ по любому из пп.1-9, 13, 15, 16, 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 элемента, по его притираемой поверхности, от 200 мм до 2500 мм.

15 18. Способ по п.10, 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 элемента, по его притираемой поверхности, от 200 мм до 2500 мм.

20 19. 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 элемента, по его притираемой поверхности, от 200 мм до 2500 мм.

25 20. Способ по п.12, 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 элемента, по его притираемой поверхности, от 200 мм до 2500 мм.

21. Способ по любому из пп.1-9, 13, 15, 16, 18-20, отличающийся тем, что в поперечном сечении основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть в виде прямоугольника.

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

23. Способ по п.11, отличающийся тем, что в поперечном сечении основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть - в виде прямоугольника.

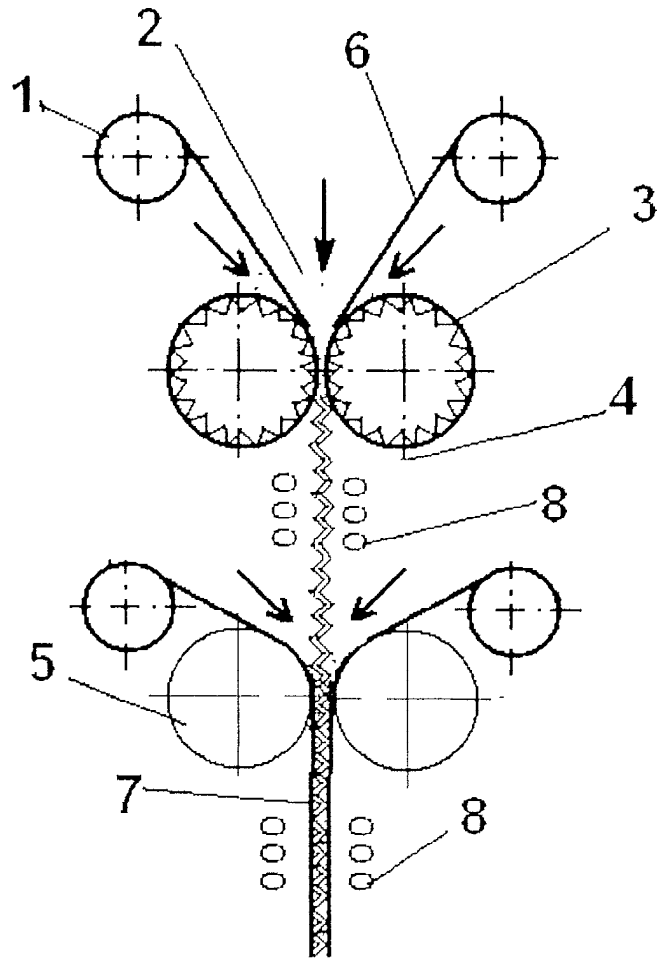
24. Способ по п.12, отличающийся тем, что в поперечном сечении основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть - в виде прямоугольника.

35 25. Способ по п.17, отличающийся тем, что в поперечном сечении основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть - в виде прямоугольника.

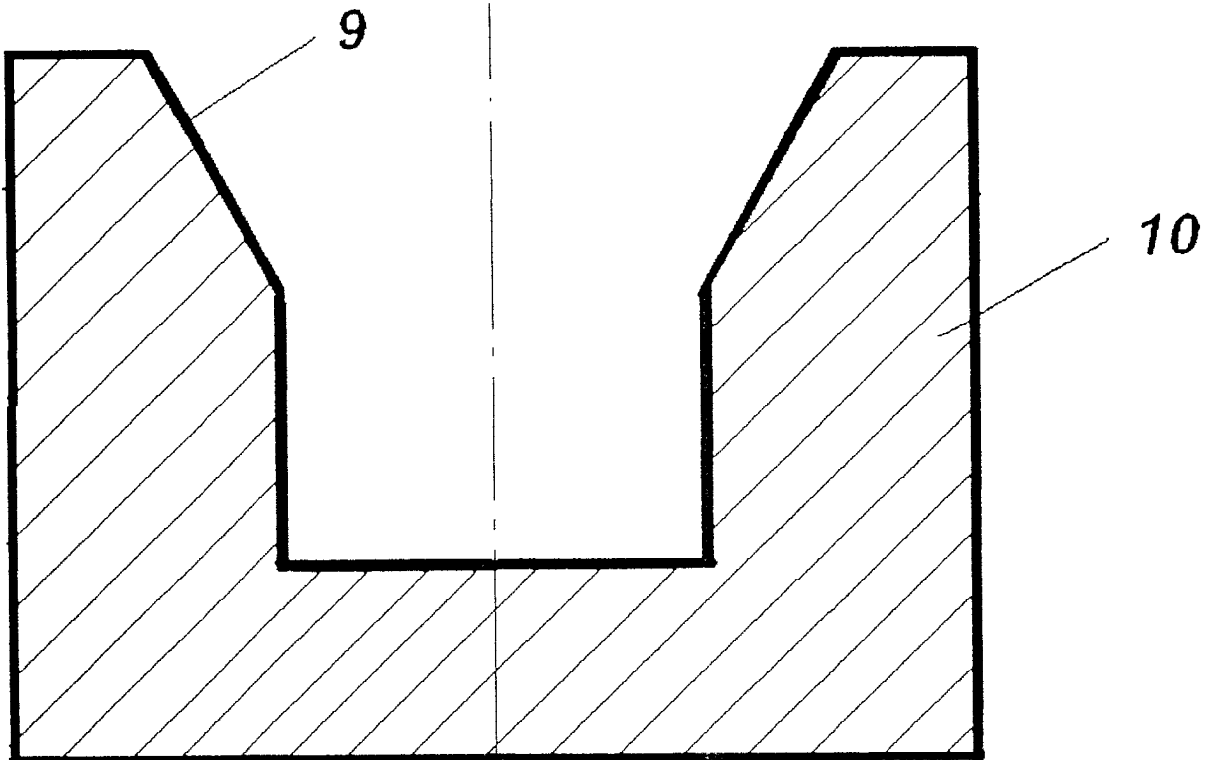
40

45

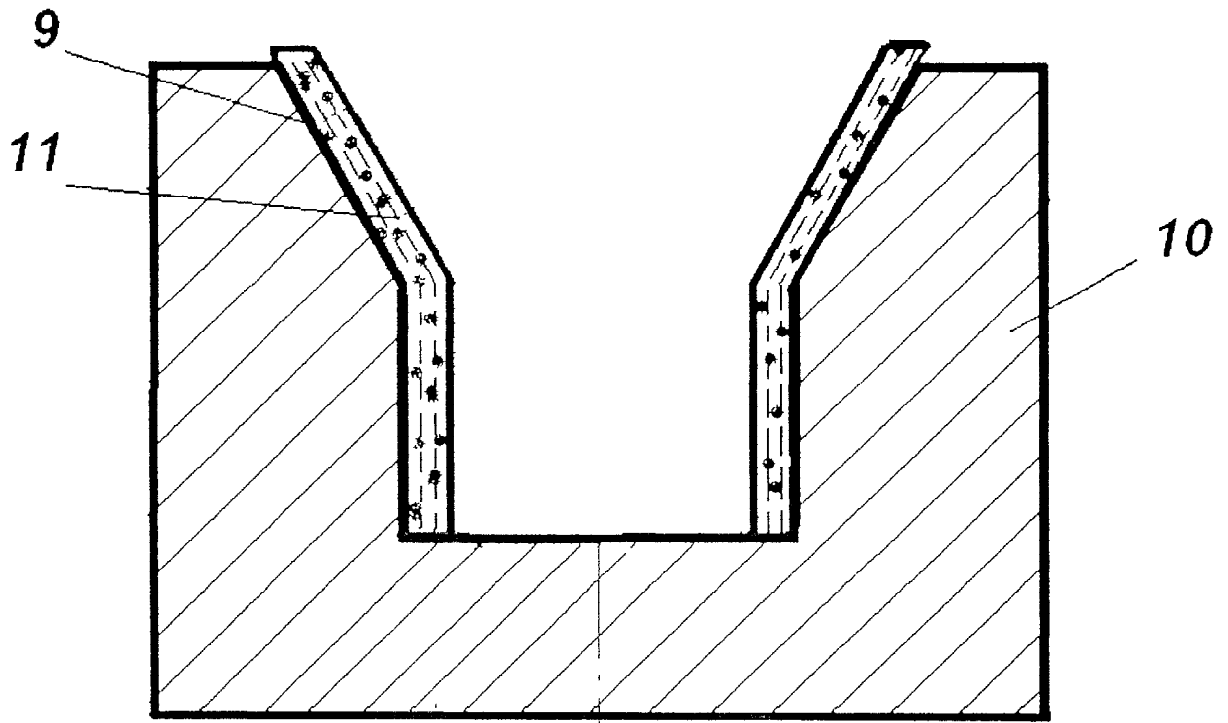
50



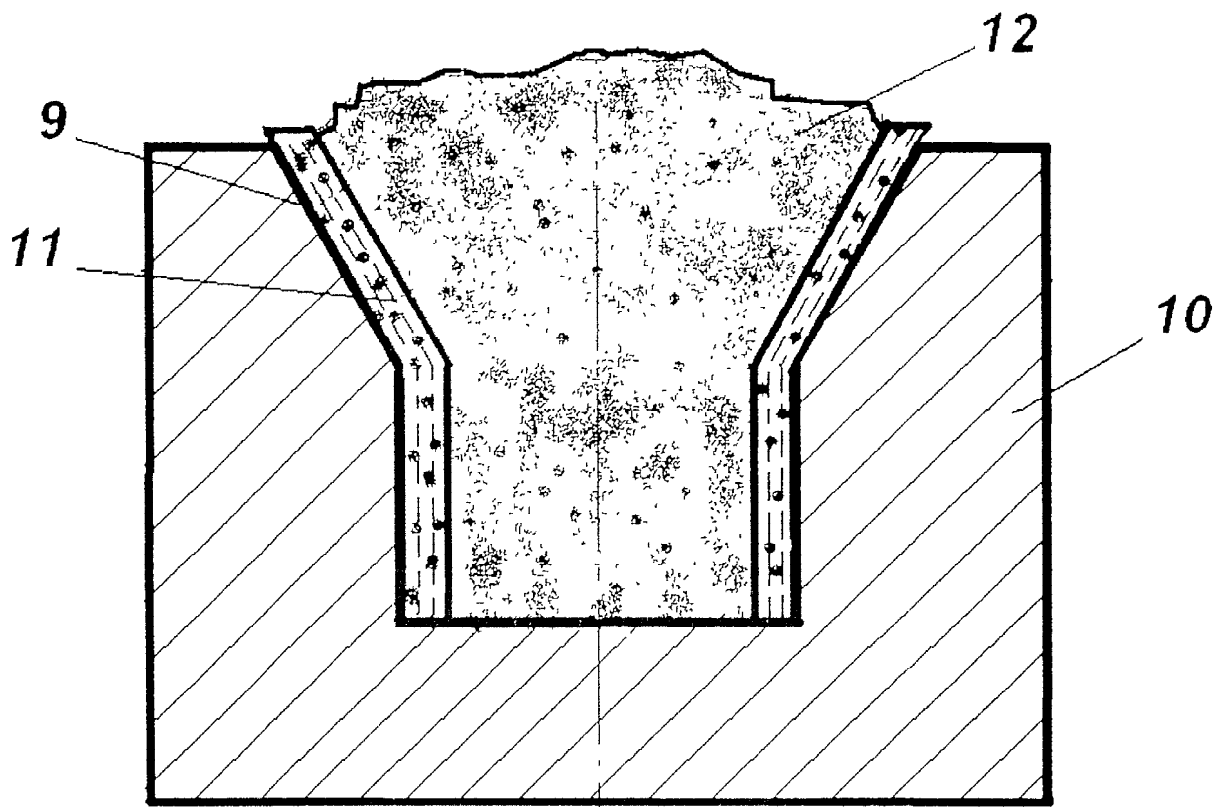
Фиг.2



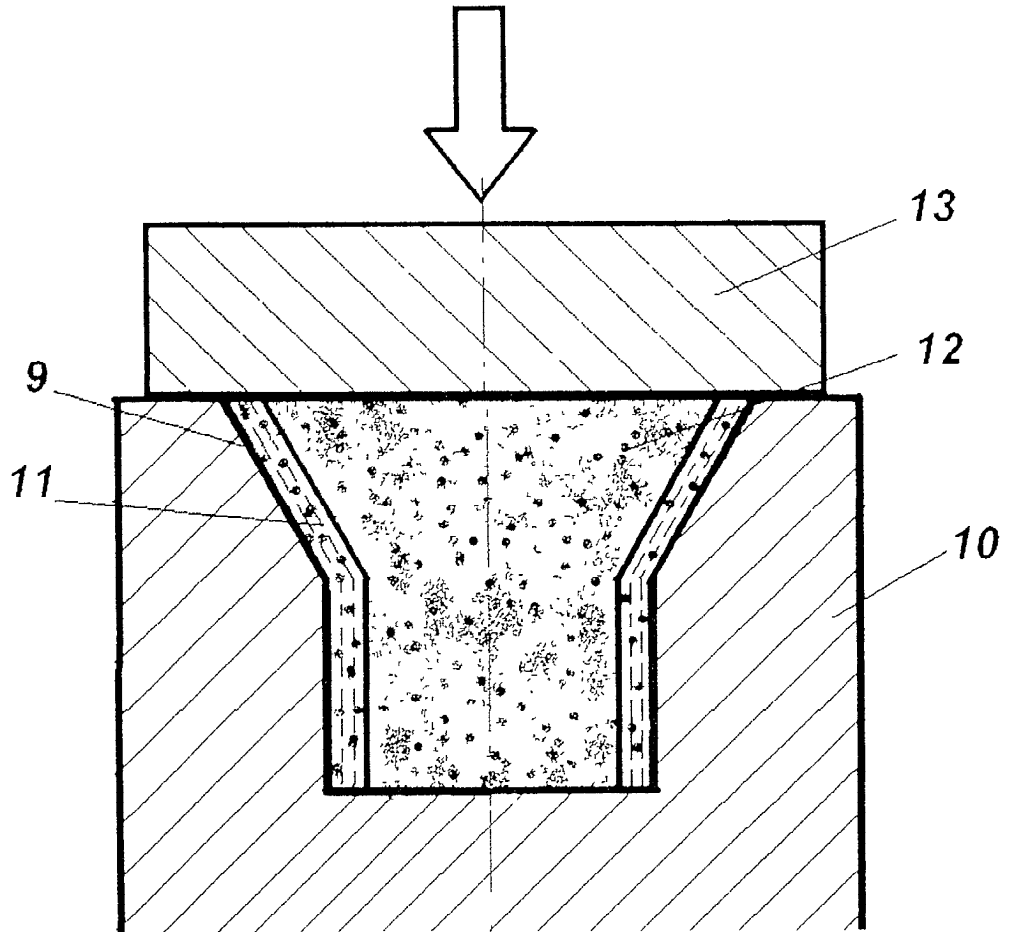
Фиг.3



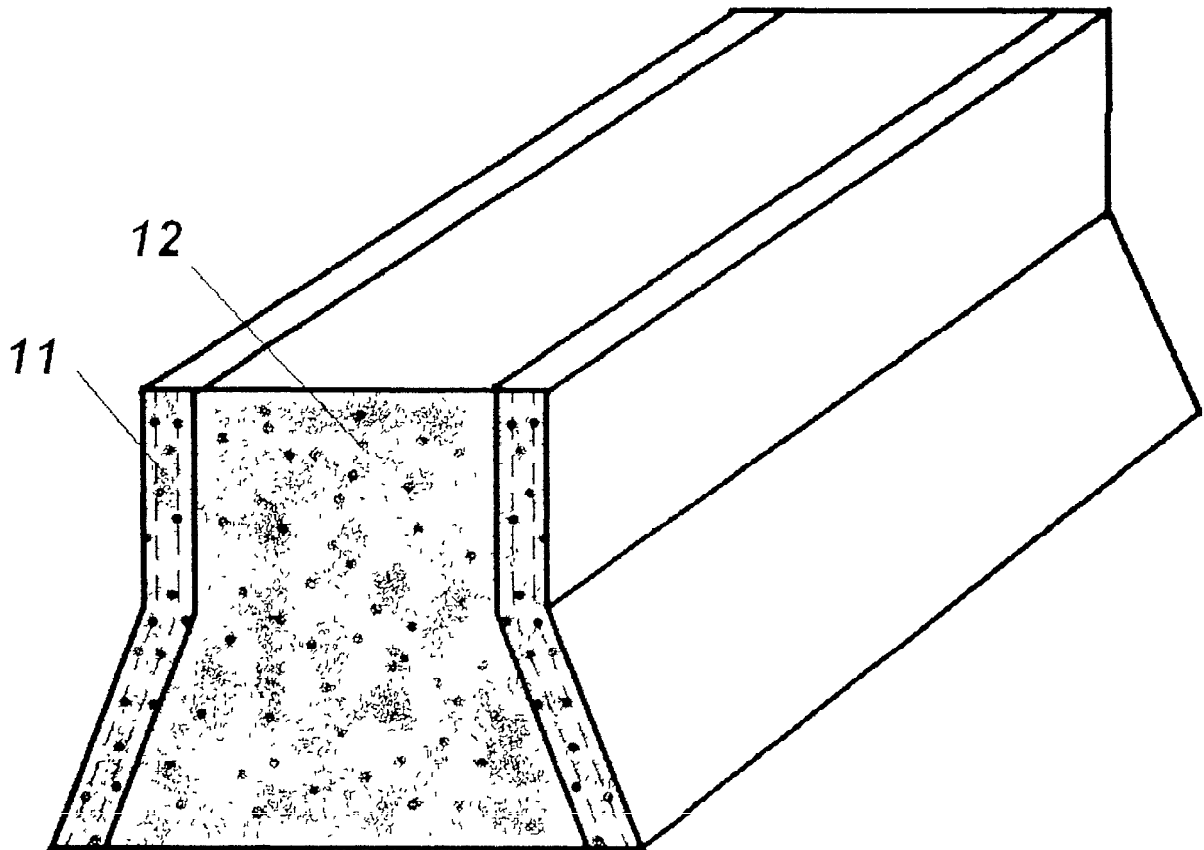
Фиг.4



Фиг.5

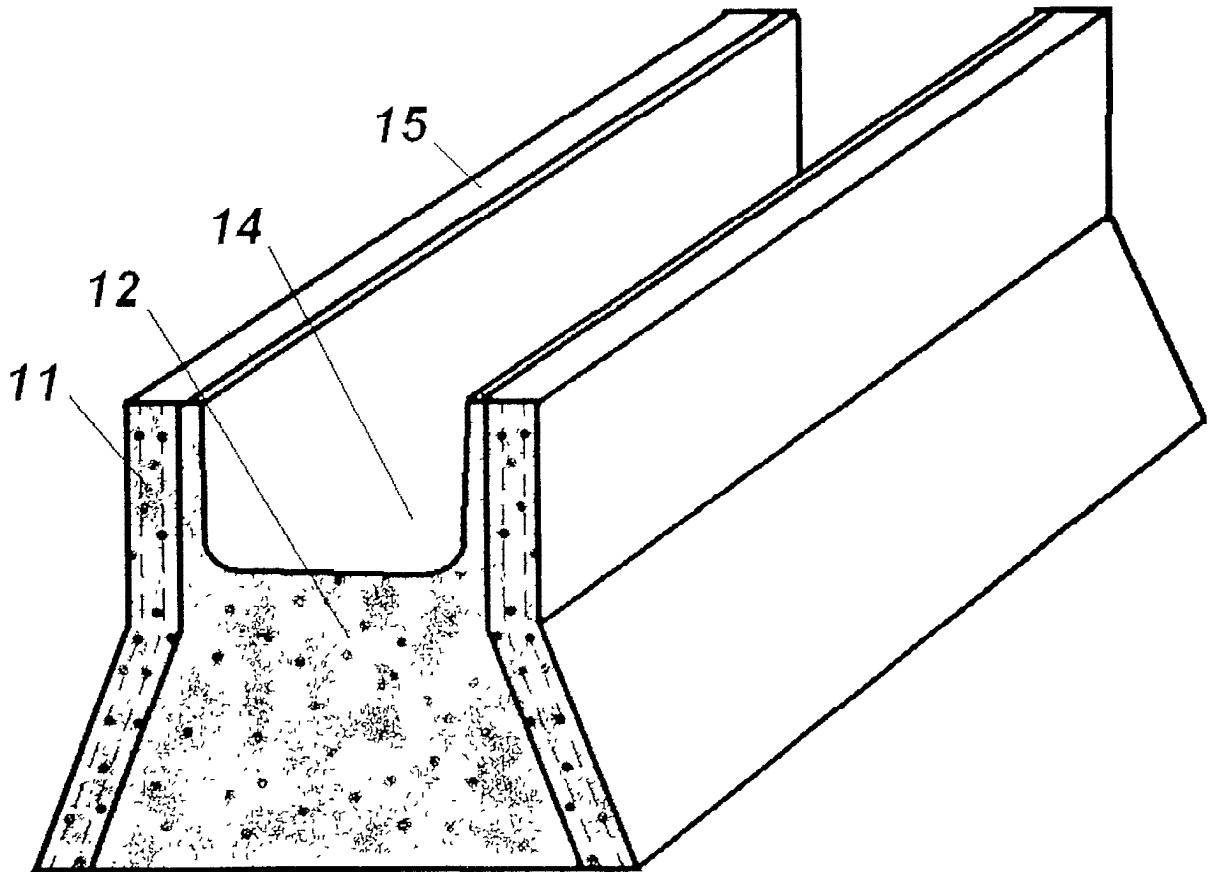


Фиг.6

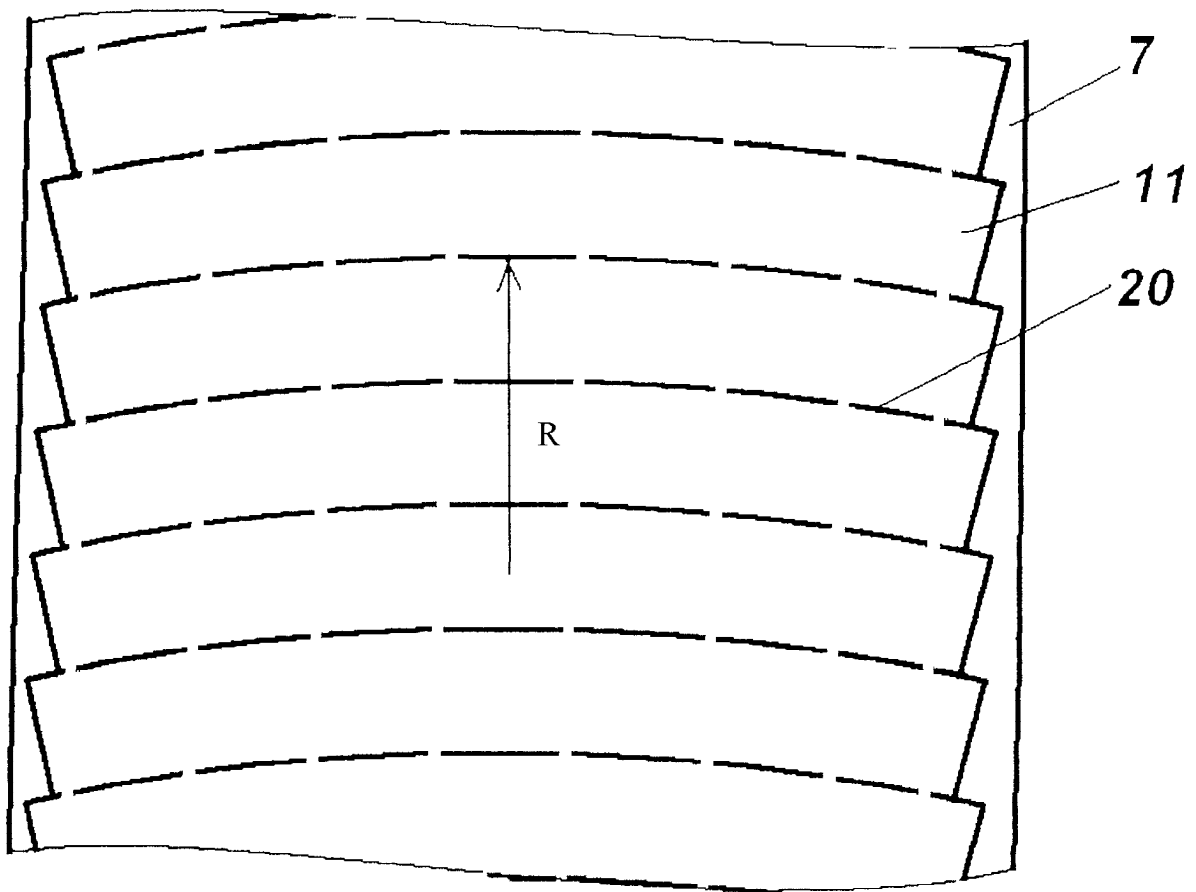


Фиг.7





Фиг.8



Фиг.10