



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2011118642/02, 10.05.2011**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**10.05.2011**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **10.05.2011**(45) Опубликовано: **27.07.2012** Бюл. № 21(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2353779 C2, 27.04.2009. US 4391089 A, 22.09.1981. US 5080934 A, 14.01.1992. EP1128100 A1, 29.08.2001. RU 2009147651 A, 21.12.2009.**

Адрес для переписки:

**450081, Республика Башкортостан, г.Уфа,  
а/я 20, ООО "НПП Вакууммаш"**

(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 АРМИРОВАННОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИРАБАТЫВАЕМОГО УПЛОТНЕНИЯ ТУРБИНЫ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к уплотнениям зазоров проточной части турбомашин, длительно работающих в условиях повышенных температур и высокочастотных вибраций. Способ включает спекание в вакууме или защитной среде в пресс-форме гранул из частиц порошка прирабатываемого материала, на поверхность которых предварительно наносят слой высокотемпературного припоя до образования на каждой грануле оболочки, а затем производят формирование элемента уплотнения спеканием гранул до образования сплошного металлического каркаса из оболочек. В качестве прирабатываемого материала используют механическую смесь порошка сплава, содержащего, 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, содержащего, вес.%: Cr от 18% до 34%; Al от 3% до 16%; Y от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное, или сплава, содержащего, 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 размером частиц от 15 мкм до 180 мкм, порошка гексагонального нитрида бора в количестве от 1,0% до 1,5% от общего объема смеси и фторида кальция в количестве от 6,0% до 8,0% от общего объема смеси. Изобретение позволяет получать уплотнения с высокой прирабатываемостью, механической прочностью и износостойкостью. 22 з.п. ф-лы, 2 ил., 1 пр.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
**B22F 3/10** (2006.01)  
**F01D 11/08** (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2011118642/02, 10.05.2011**(24) Effective date for property rights:  
**10.05.2011**

Priority:

(22) Date of filing: **10.05.2011**(45) Date of publication: **27.07.2012 Bull. 21**

Mail address:

**450081, Respublika Bashkortostan, g.Ufa, a/ja 20,  
OOO "NPP Vakuummash"**

(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 REINFORCED ELEMENT OF TURBINE RUN-IN 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. Proposed method comprises sintering granules of run-in material powder particles in mould in vacuum or protective medium. Layer of high-temperature solder is pre-applied on their surface to produce shell on every granule to sinter said granules to solid metal carcass of their shells. Aforesaid run-in material represents a mechanical mix of allow powder containing the following components, in wt %: Cr - 10.0 to 18.0%,

Mo - 0.8 to 3.7%, Fe or Ti or Cu or combination thereof making the rest, or alloy containing: Cr - 18% to 34%; Al - 3% to 16%; Y - 0.2% to 0.7%; Ni making the rest, or alloy containing: Cr - 18% to 34%; Al - 3% to 16%; Y - 0.2% to 0.7%; Co - 16% to 30%; Ni making the rest, with particle size varying from 15 mcm to 180 mcm, with powders of hexagonal boron nitride in amount of 1.0-1.5 % of total amount of mix and calcium fluoride in amount of 6.0-8.0% of total amount of mix.

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

23 cl, 2 dwg, 1 ex

RU 2 4 5 7 0 6 7 C 1

RU 2 4 5 7 0 6 7 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 элемента прирабатываемого уплотнения турбины, включающий спекание в вакууме или защитной среде в пресс-форме частиц  
50 порошка прирабатываемого материала с легирующими добавками с образованием прирабатываемого элемента заданной формы и размеров [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.].

В этой связи, использование уплотнения, содержащего слой сотовой структуры, выполненный из монолитного материала, допускающего врезание в него выступов лопатки и снижающего их износ в процессе эксплуатации, привело бы к дальнейшему повышению эффективности работы турбомашин.

Техническим результатом заявляемого изобретения является одновременное обеспечение высокой прирабатываемости, механической прочности и износостойкости уплотнения, а также снижения трудоемкости его изготовления.

Технический результат достигается тем, что в способе изготовления армированного элемента прирабатываемого уплотнения турбины, включающем спекание в вакууме или защитной среде в пресс-форме частиц порошка прирабатываемого материала с образованием элемента уплотнения заданной формы и размеров, в отличие от прототипа перед спеканием элемента уплотнения формируют гранулы из порошка прирабатываемого материала, наносят на их поверхность слой высокотемпературного припоя до образования на каждой грануле оболочки, а затем производят формирование элемента уплотнения спеканием гранул до образования сплошного металлического каркаса из оболочек гранул при их соединении, а в качестве прирабатываемого материала берут материал 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, 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 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 спекание гранул проводят при температуре  $(0,7 \dots 1,0) T_{пл.пр}$ , где  $T_{пл.пр}$  - температура плавления высокотемпературного припоя, при этом 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.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления армированного элемента прирабатываемого уплотнения турбины 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 и/или Ca 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 армированного элемента прирабатываемого уплотнения турбины гранулы формируют от 0,4 мм до 3,0 мм, а элементы выполняют в виде брусков, размерами и

формой, обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашин, 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, причем выполняют сплошной каркас из оболочек гранул с объемной долей ко всему объему элемента от 4% до 30%, а в его поперечном сечении основание элемента выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть - в виде прямоугольника.

Технический результат достигается также тем, что в способе изготовления армированного элемента прирабатываемого уплотнения турбины формирование гранул из механической смеси порошка производят либо в многоместной ротационной пресс-форме с ячейками, соответствующими размерам гранул, либо в вибромельнице со стальными шарами диаметром от 5 мм до 15 мм, причем формирование гранул проводят в защитной среде с последующей их дегазацией в вакууме при температуре от 100°С до 600°С, а нанесение припоя на поверхность гранул проводят, либо газопламенным, либо плазменным методом, либо окунанием в расплавленный припой, либо методами осаждения в вакууме.

Исследованиями авторов было установлено, что в определенных условиях возможно создание материала для уплотнений, обладающего с одной стороны достаточно высокими механической прочностью и износостойкостью, позволяющими 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 собой частиц порошка, обладает достаточно высокой прочностью, позволяющей удерживать внутри каркаса наполнитель, образованный также спеканием частиц порошка между собой, но с гораздо более низкой адгезионной прочностью. Такое функциональное разделение прирабатываемого элемента на прирабатываемую (порошковый наполнитель с меньшей адгезией частиц) и несущую части (сплошной каркас, сформированный из спеченных оболочек гранул) существенно увеличивает прочностные характеристики уплотнительного элемента.

Изобретение иллюстрируется чертежами, на которых:

на фиг.1 представлены: фиг.1,а - гранула с оболочкой; фиг.1,б - гранулы перед спеканием; на фиг.2 - структура материала уплотнения после спекания. На фиг.1 и 2 обозначено: 1 - гранула с оболочкой; 2 - спеченный порошок наполнителя в грануле; 3 - внешняя оболочка гранулы; 4 - поры; 5 - группа гранул перед спеканием; 6 - сплошной металлический каркас из оболочек гранул; 7 - группа гранул после спекания; 8 - оболочка гранулы после спекания.

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.).

5 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  
10 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 -  
15 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%.

20 Размеры сотового 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.

25 Диаметр гранул составлял от 0,4 до 3,0 мм (0,2 мм - (Н.Р.); 0,4 мм - (У.Р.); 2,0 мм - (У.Р.); 3,0 мм - (У.Р.); 4,0 мм - (Н.Р.)). Нанесение припоя на поверхность стержней проводили газопламенным, плазменным методом, окунанием в расплавленный припой и методами осаждения в вакууме (ионно-плазменным методом). Состав высокотемпературного припоя является ноу-хау.

30 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% -  
35 (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 стержней производилось при температуре от 1100 до 1200°C, [(от 1100°C до 1200°C)±100°C], в электропечи ОКБ 8086, а спекание элементов из гранул при  
40 температурах от 0,7 до 1,0 температуры плавления применяемого высокотемпературного припоя. 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  
45 от 134 до 146;  $\sigma_B$  - 28,8...37,1 кгс/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_T$  = 17,1...25,4 кгс/мм<sup>2</sup>; ударная вязкость 1,14...1,53 кгм/см<sup>2</sup>. Результаты испытаний образцов уплотнений из разработанного материала в условиях эксплуатации показали сочетание высоких прочностных характеристик уплотнений с хорошей прирабатываемостью.

50 Таким образом, способ изготовления армированного элемента прирабатываемого уплотнения турбины, включающий следующие признаки: спекание в вакууме или защитной среде в пресс-форме частиц порошка прирабатываемого материала с образованием элемента уплотнения заданной формы и размеров; перед спеканием

элемента уплотнения, формирование гранулы из порошка прирабатываемого материала; нанесение на их поверхность слоя высокотемпературного припоя до образования на каждой грануле оболочки; проведение формирования элемента уплотнения спеканием гранул до образования сплошного металлического каркаса из оболочек гранул при их соединении; использование в качестве прирабатываемого материала 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; спекание частиц порошка прирабатываемого материала 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; спекание гранул при температуре  $(0,7 \dots 1,0) T_{пл. пр}$ , где  $T_{пл. пр}$  - температура плавления высокотемпературного припоя; использование в качестве смеси водорода и азота 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 смеси, в объемных %, состава: водород от 65 до 75%, атомарный азот от 2 до 5%, остальное - аргон; добавление дополнительно в механическую смесь: BaSO<sub>4</sub> от 0,4% до 3% от общего объема смеси, в виде порошка, размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм и/или Ca от 0,01 до 0,2% от общего объема смеси, в виде порошка, размерами частиц от 1 мкм до 25 мкм; формирование гранул от 0,4 мм до 3,0 мм; выполнение элементов в виде брусков, размерами и формой, обеспечивающими, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашин; 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; выполнение сплошного каркаса из оболочек гранул с объемной долей ко всему объему элемента от 4% до 30%; основание элемента, в его поперечном сечении, выполняют в виде трапеции, а его верхнюю часть - в виде прямоугольника; формирование гранул из механической смеси порошка производят либо в многоместной ротационной пресс-форме с ячейками, соответствующими размерам гранул, либо в вибромельнице со стальными шарами диаметром от 5 мм до 15 мм, причем формирование гранул проводят в защитной среде с последующей их дегазацией в вакууме при температуре от 100°C до 600°C, а нанесение припоя на поверхность гранул проводят, либо газопламенным, либо плазменным методом, либо окунанием в расплавленный припой, либо методами осаждения в вакууме, что позволяет достичь поставленного в изобретении технического результата: одновременного обеспечения высокой прирабатываемости, механической прочности и износостойкости уплотнения.

#### Формула изобретения

1. Способ изготовления армированного элемента прирабатываемого уплотнения турбины, включающий спекание в вакууме или защитной среде в пресс-форме частиц порошка прирабатываемого материала с образованием элемента уплотнения

заданной формы и размеров, отличающийся тем, что перед спеканием элемента уплотнения формируют гранулы из порошка прирабатываемого материала, наносят на их поверхность слой высокотемпературного припоя до образования на каждой грануле оболочки, а затем производят формирование элемента уплотнения спеканием гранул до образования сплошного металлического каркаса из оболочек гранул при их соединении, а в качестве прирабатываемого материала берут материал 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, 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 или в вакууме, или в одной из следующих газовых сред: аммиак, смесь аргона и аммиака, смесь водорода и азота, смесь водорода, аргона и азота, причем спекание гранул проводят при температуре (0,7...1,0) T<sub>пл.пр</sub>, где T<sub>пл.пр</sub> - температура плавления высокотемпературного припоя.

2. 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.

3. Способ по п.1, 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.

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.1, 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.

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, 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 любому из пп.1-7, отличающийся тем, что гранулы формируют размерами от 0,4 мм до 3,0 мм.

9. Способ по любому из пп.1-7, отличающийся тем, что элементы выполняют в виде брусков с размерами и формой, обеспечивающими при их соединении в кольцо формирование полного торцевого уплотнения турбомашин.

10. Способ по п.8, отличающийся тем, что элементы выполняют в виде брусков с размерами и формой, обеспечивающими при их соединении в кольцо формирование полного торцевого уплотнения турбомашин.

11. Способ по п.9, 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.

12. 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.

5 13. Способ по любому из пп.1-7, 10-12, отличающийся тем, что выполняют сплошной каркас из оболочек гранул с объемной долей ко всему объему элемента от 4% до 30%.

14. Способ по п.8, отличающийся тем, что выполняют сплошной каркас из 10 оболочек гранул с объемной долей ко всему объему элемента от 4% до 30%.

15. Способ по п.9, отличающийся тем, что выполняют сплошной каркас из оболочек гранул с объемной долей ко всему объему элемента от 4% до 30%.

16. Способ по любому из пп.1-7, 10-12, 14,15, отличающийся тем, что образуют элемент, имеющий в поперечном сечении основание, выполненное в виде трапеции, и 15 верхнюю часть - в виде прямоугольника.

17. Способ по п.8, отличающийся тем, что образуют элемент, имеющий в поперечном сечении основание, выполненное в виде трапеции, и верхнюю часть - в виде прямоугольника.

20 18. Способ по п.9, отличающийся тем, что образуют элемент, имеющий в поперечном сечении основание, выполненное в виде трапеции, и верхнюю часть - в виде прямоугольника.

19. Способ по п.13, отличающийся тем, что образуют элемент, имеющий в поперечном сечении основание, выполненное в виде трапеции, и верхнюю часть - в 25 виде прямоугольника.

20. Способ по любому из пп.1-7, 10-12, 14,15, 17-19, отличающийся тем, что формирование гранул из механической смеси порошка производят или в 30 многоместной ротационной пресс-форме с ячейками, соответствующими размерам гранул, или в вибротельнице со стальными шарами диаметром от 5 мм до 15 мм, причем формирование гранул проводят в защитной среде с последующей их дегазацией в вакууме при температуре от 100°C до 600°C, а нанесение припоя на поверхность гранул проводят или газопламенным, или плазменным методом, или окунанием в расплавленный припой, или методами осаждения в вакууме.

35 21. Способ по п.8, отличающийся тем, что формирование гранул из механической смеси порошка производят или в многоместной ротационной пресс-форме с ячейками, соответствующими размерам гранул, или в вибротельнице со стальными шарами 40 диаметром от 5 мм до 15 мм, причем формирование гранул проводят в защитной среде с последующей их дегазацией в вакууме при температуре от 100°C до 600°C, а нанесение припоя на поверхность гранул проводят или газопламенным, или плазменным методом, или окунанием в расплавленный припой, или методами осаждения в вакууме.

45 22. Способ по п.13, отличающийся тем, что формирование гранул из механической смеси порошка производят или в многоместной ротационной пресс-форме с ячейками, соответствующими размерам гранул, или в вибротельнице со стальными шарами 50 диаметром от 5 мм до 15 мм, причем формирование гранул проводят в защитной среде с последующей их дегазацией в вакууме при температуре от 100°C до 600°C, а нанесение припоя на поверхность гранул проводят или газопламенным, или плазменным методом, или окунанием в расплавленный припой, или методами осаждения в вакууме.

23. Способ по п.16, отличающийся тем, что формирование гранул из механической

смеси порошка производят или в многоместной ротационной пресс-форме с ячейками, соответствующими размерам гранул, или в вибромельнице со стальными шарами, диаметром от 5 мм до 15 мм, причем формирование гранул проводят в защитной среде с последующей их дегазацией в вакууме при температуре от 100°C до 600°C, а нанесение припоя на поверхность гранул проводят или газопламенным, или плазменным методом, или окунанием в расплавленный припой, или методами осаждения в вакууме.

10

15

20

25

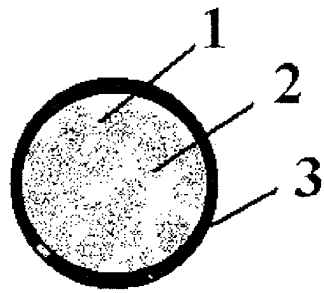
30

35

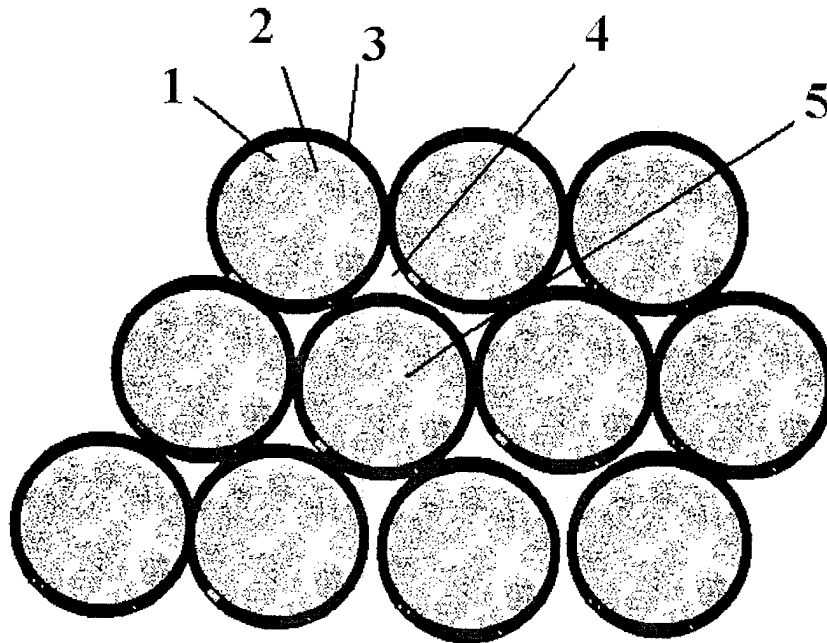
40

45

50

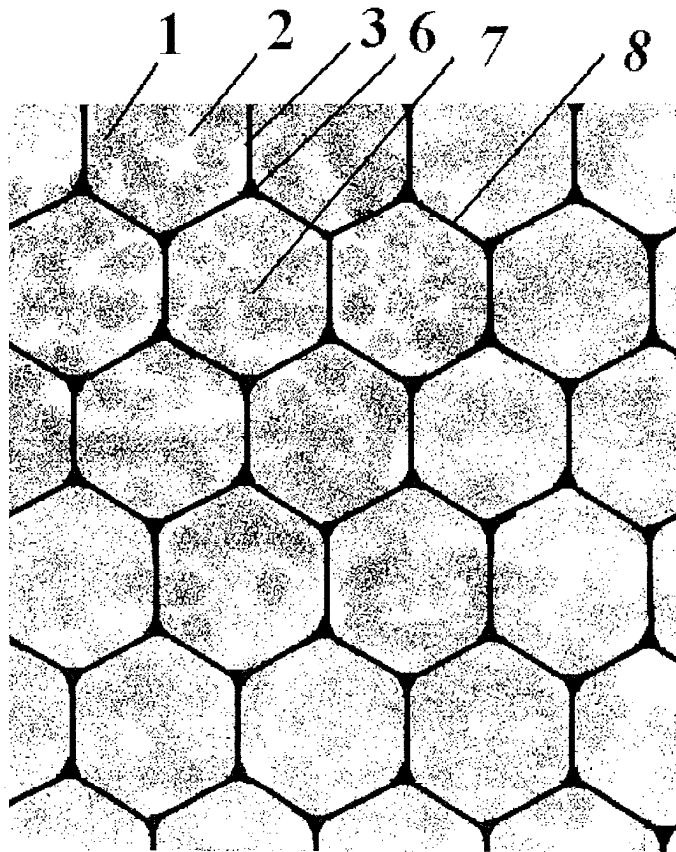


а



б

Фиг. 1



Фиг.2