РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **109 427** (13) **U1**

(51) МПК
B22F 7/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2010153560/02, 27.12.2010**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.12.2010

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **27.12.2010**

(45) Опубликовано: **20.10.2011** Бюл. № **29**

Адрес для переписки:
450081, 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) УПЛОТНЕНИЕ ЗАЗОРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОМАШИНЫ

Формула полезной модели

1. Уплотнение зазоров проточной части турбомашины, выполненное из адгезионно соединенных между собой частиц порошкового материала, отличающееся тем, что уплотнение выполнено составным из несущей и прирабатываемой части, причем несущая часть выполнена из порошкового материала состава, вес.%: Cr - от 10,0 до 16,0%, Mo - от 0,8 до 3,7%, Fe - остальное, с размерами частиц порошка от 10 мкм до 180 мкм, а прирабатываемая часть выполнена из механической смеси порошкового материала с размерами частиц порошка от 10 мкм до 150 мкм, состава, вес.%: Cr - от 14,0 до 18,0%, Mo - от 0,7 до 1,4%, Si - от 0,2 до 1,4%, Mn - от 0,1 до 0,5%, Fe - остальное, при содержании фракций порошка размерами: менее 40 мкм - от 30 до 40%, от 40 мкм до 70 мкм - от 40 до 50%, от 70 мкм до 140 мкм - от 10 до 20%, более 140 мкм - остальное, но не более 6%.

2. Уплотнение по п.1, отличающееся тем, что материал прирабатываемой части дополнительно содержит порошковый гексагональный нитрид бора в количестве от 0,5 до 10,0%, причем размеры частиц порошка гексагонального нитрида бора составляют менее 1 мкм.

3. Уплотнение по п.1, отличающееся тем, что материал прирабатываемой части дополнительно содержит, вес.%: C - от 0,01 до 0,03%, Ni - от 0,1 до 0,3%, Nb - от 0,4 до 0,8%, S - от 0,01 до 0,03%.

4. Уплотнение по п.2, отличающееся тем, что материал прирабатываемой части дополнительно содержит $BaSO_4$ - от 0,4 до 3 вес.%.

5. Уплотнение по п.1, отличающееся тем, что материал прирабатываемой части дополнительно содержит углерод - от 0,04 до 0,3 вес.%.

6. Уплотнение по п.2, отличающееся тем, что материал прирабатываемой части дополнительно содержит углерод - от 0,04 до 0,3 вес.%.

7. Уплотнение по любому из пп.1-6, отличающееся тем, что оно выполнено спеканием

RU 109427 U1

RU 109427 U1

в вакууме или защитной среде при температуре от 950°С до 1250°С.

8. Уплотнение по п.7, отличающееся тем, что в качестве защитной среды использован CO и/или CO_2.

9. Уплотнение по п.7, отличающееся тем, что спекание осуществлено в вакууме не хуже 10^{-2} мм рт. ст.

10. Уплотнение по любому из пп.1-6, 8, 9, отличающееся тем, что оно получено газотермическим нанесением на элемент турбомашины.

11. Уплотнение по любому из пп.1-6, 8, 9, отличающееся тем, что материал прирабатываемой части дополнительно содержит Ca - от 0,01 до 0,2 вес.%.

12. Уплотнение по п.7, отличающееся тем, что материал прирабатываемой части дополнительно содержит Ca - от 0,01 до 0,2 вес.%.

13. Уплотнение по п.8, отличающееся тем, что материал прирабатываемой части дополнительно содержит Ca - от 0,01 до 0,2 вес.%.

14. Уплотнение по любому из пп.1-6, отличающееся тем, что материал прирабатываемой части дополнительно содержит CaF_2 - от 4 до 11 вес.%.

15. Уплотнение по любому из пп.1-6, 8, 9, 12, 13, отличающееся тем, что уплотнение выполнено в виде брусков, размерами и формой обеспечивающих при их соединении в кольцо формирование полного торцевого уплотнения турбомашины.

16. Уплотнение по п.15, отличающееся тем, что его размеры составляют: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм 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.

17. Уплотнение по любому из пп.1-6, 8, 9, 12, 13, 16, отличающееся тем, что отношение площади прирабатываемой части к несущей части уплотнения по его поперечному сечению составляет от 1:20 до 10:1.

18. Уплотнение по п.15, отличающееся тем, что отношение площади прирабатываемой части к несущей части уплотнения по его поперечному сечению составляет от 1:20 до 10:1.

19. Уплотнение по любому из пп.1-6, 8, 9, 12, 13, 16, 18, отличающееся тем, что его несущая часть составляет его основание.

20. Уплотнение по п.19, отличающееся тем, что по его поперечному сечению несущая часть охватывает в виде U-образного элемента прирабатываемую часть.

21. Уплотнение по п.19, отличающееся тем, что в поперечном сечении его несущая часть охватывает прирабатываемую часть, причем несущая часть выполнена в виде трапеции.

22. Уплотнение по п.20, отличающееся тем, что в его поперечном сечении несущая часть охватывает прирабатываемую часть, причем несущая часть выполнена в виде трапеции.

23. Уплотнение по п.19, отличающееся тем, что в его поперечном сечении несущая часть охватывает прирабатываемую часть, причем основание несущей части выполнено в виде трапеции, а его верхняя часть - в виде прямоугольника.

24. Уплотнение по п.20, отличающееся тем, что в его поперечном сечении несущая часть охватывает прирабатываемую часть, причем основание несущей части выполнено в виде трапеции, а его верхняя часть - в виде прямоугольника.

RU 1094427 U1

RU 1094427 U1

Полезная модель относится к машиностроению, в частности к уплотнениям зазоров проточной части турбомашин, длительно работающих в условиях повышенных температур и высокочастотных вибраций.

Эффективность работы газотурбинных двигателей и установок, а также паровых турбин зависит 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 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 уплотнительных материалов, что приводит к быстрому износу уплотнения. В качестве прирабатываемых уплотнений в современных двигателях и установках используют также газотермические покрытия, имеющих, по сравнению с вышеописанными материалами, меньшую трудоемкость изготовления.

Известно прирабатываемое уплотнение турбомашины [патент США №4291089], получаемое методом газотермического напыления порошкового материала. При этом уплотнение формируется в виде покрытия, которое наносится непосредственно на кольцевой элемент корпуса турбомашины в зону уплотнения между корпусом и лопаткой.

Недостатком известного уплотнения является невозможность одновременного обеспечения высокой прирабатываемое™ и износостойкости покрытия.

Известно также прирабатываемое уплотнение турбомашины [патент США №4936745], выполненное в виде высокопористого керамического слоя с пористостью от 20 до 35 объемных %.

Недостатком известного уплотнения является низкая эрозионная стойкость и прочность.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому является уплотнение зазоров проточной части турбомашины, выполненный из адгезионно соединенных между собой частиц порошкового материала, [патент РФ №2039631, МПК B22F 3/10, Способ изготовления истираемого материала, 1995]. При этом уплотнение включает порошковый наполнитель, составляющий основу материала уплотнения и добавки. Порошковый материал заполнен в сотовые ячейки и спечен в вакууме или защитной среде. В качестве гранулированного прошкового материла использован материал состава Cr-Fe-Nb-C-Ni.

Известное прирабатываемое уплотнение турбомашины [патент РФ №2039631, МПК B22F 3/10, Способ изготовления истираемого материала, 1995] используется для уплотнения, которое выполнено в виде жестко соединенного со статором слоя сотовой структуры. При соприкосновении выступов на торце лопатке с сотовой структурой острые кромки гребешков притупляются, что приводит к снижению эффективности уплотнения. При этом слой сотовой структуры может быть закреплен на элементе турбомашины методом сварки или пайки [например, патент РФ №2277637, МПК F01D 11/08, 2006 г.].

Процесс изготовления и прикрепления сотовой структуры достаточно сложен, трудоемок, а также связан с большими временными затратами. При этом, сотовая структура может быть соединена как с кольцевым элементом турбомашины, так и с

отдельными, образующими кольцо элементами-вставками [например, патент РФ 2287063, МПК F01D 11/08, 2006 г.].

Недостатками прототипа являются невозможность одновременного обеспечения высокой прирабатываемости, механической прочности и износостойкости материала уплотнения, а также необходимость использования сотовых ячеек.

Задачей полезной модели является создание уплотнения, не содержащего слоя сотовой структуры, а выполненного из монолитного материала, допускающего врезание в него выступов лопатки и снижающего их износ в процессе эксплуатации.

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

Технический результат достигается тем, что уплотнение зазоров проточной части турбомашины, выполненное из адгезионно соединенных между собой частиц порошкового материала, в отличие от прототипа, элемент выполнен составным, содержащим несущую и прирабатываемую части, причем несущая часть выполнена из порошкового материала состава, в вес.%: Cr - от 10,0 до 16,0%, Mo - от 0,8 до 3,7%, Fe - остальное, с размерами частиц порошка от 10 мкм до 180 мкм, а прирабатываемая часть выполнена из механической смеси порошкового материала с размерами частиц порошка от 10 мкм до 150 мкм, состава, в вес.%: Cr - от 14,0 до 18,0%, Mo - от 0,7 до 1,4%, Si - от 0,2 до 1,4%, Mn - от 0,1 до 0,5%, Fe -остальное, 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, но не более 6%.

Кроме того, полезная модель позволяет получить следующие дополнительные технические результаты.

Дополнительные технические результаты в виде уменьшения коэффициента трения и повышения жаростойкости достигаются за счет того, что материал прирабатываемой части может дополнительно содержать порошковый гексагональный нитрид бора в количестве от 0,5% до 10,0%, размерами частиц порошка гексагонального нитрида бора менее 1 мкм, при этом материал прирабатываемой части может дополнительно содержать в % вес: C - от 0,01 до 0,03%, Ni - от 0,1 до 0,3%, Nb - от 0,4 до 0,8%, S - от 0,01 до 0,03%; от 0,4% до 3% $BaSO_4$; от 0,04% до 0, 3% углерода, материал прирабатываемой части дополнительно содержит Ca в пределах от 0,01 до 0,2% или CaF_2 в количестве от 4 до 11%, а уплотнение выполнено спеканием в вакууме или защитной среде при температуре от 950°C до 1250°C, а качестве защитной среды использован CO и/или CO_2, или спекание осуществлено в вакууме не хуже 10^{-2} мм рт.ст.; уплотнение получено газотермическим нанесением на элемент турбомашины.

Дополнительные технические результаты в виде снижения трудоемкости изготовления, расширения функциональных возможностей уплотнения и возможности его использования на основных конструкциях турбомашин достигаются за счет того, что уплотнение выполнено в виде брусков, размерами и формой, обеспечивающих, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашины, а размеры уплотнения составляют: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм 70 мм, высота от 5 мм до 50 мм и радиус кривизны по длине уплотнения, по его притираемой поверхности от 200 мм до 2500 мм, при этом отношение площади прирабатываемой части к несущей части уплотнения по его поперечному сечению могут составлять: от 1:20 до 10:1; несущая часть уплотнения составляет его основание, при этом возможны следующие варианты воплощения элемента уплотнения: по его поперечному сечению

несущая часть охватывает, в виде U-образного элемента, прирабатываемую часть; в его поперечном сечении несущая часть уплотнения охватывает прирабатываемую часть уплотнения, причем несущая часть выполнена в виде трапеции или основание несущей части выполнено в виде трапеции, а его верхняя часть в виде прямоугольника.

Исследованиями авторов было установлено, что, с одной стороны, 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 материале для уплотнений, объясняется, в частности, тем, что адгезионная прочность частиц наполнителя, образующего материал весьма высока, тогда как в результате мгновенного ударного-теплового воздействия в условиях эксплуатации уплотнения на отдельную частицу наполнителя кинетическая энергия удара переходит в тепловую энергию. В результате этого, адгезионная прочность на границе рассматриваемой частицы резко снижается и в результате удара происходит его отрыв. В целом же процесс прирабатываемости уплотнения складывается из совокупности единичных процессов отрыва частиц наполнителя в результате снижения адгезионной прочности на границе каждой частицы. Кроме того, отрыв и унос частицы приводит к отводу излишней теплоты из зоны приработки и не позволяет нагреваться основной массе материала. С другой стороны, функциональное разделение прирабатываемого элемента на прирабатываемую и несущую части существенно увеличивают прочностные его характеристики. Кроме того, использование порошкового материала для получения как прирабатываемой, так и несущей частей уплотнения позволяют, за счет применения только одного из видов спекания порошковых материалов в значительной степени (например, в отличие от использования сотовых структур) снизить трудоемкость изготовления уплотнений.

Пример. В качестве материалов для получения элемента прирабатываемого уплотнения использовался металлический порошок следующих составов.

Для прирабатываемой части: 1) [Cr - 12,0%, Mo - 0,5%, Si - 0,1%, Mn - 0,05%, Fe - остальное] - неудовлетворительный результат (Н.Р.); 2) [Cr - 14,0%, Mo - 0,7%, Si - 0,2%, Mn - 0,1%, Fe - остальное]; 3) Cr - 18,0%, Mo - 1,4%, Si - 1,4%, Mn - 0,5%,Fe - остальное; 4) [Cr - 20,0%, Mo - 1,8%, Si - 1,9%, Mn - 0,8%, Fe - остальное] - Н.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, но не более 6%. Исходный порошковый материал дополнительно содержал гексагональный нитрид бора (BN) размерами частиц порошка менее 1 мкм в количестве: 0,5%; 1,0%; 5,0%; 7,0%; 10,0%. Кроме того, были использованы порошковые материалы вышеуказанных составов с дополнительными добавками следующих компонентов: 1) C - 0,01%; 0,03%, Ni - 0,1%; 0,3%, Nb - 0,4%; 0,8%, S - 0,01%; 0,03%.2) $BaSO_4$:0,4%; 1,2%; 3%. 3) углерод: 0,04%; 0,3%. 4) Ca:0,01%; 0,05%; 0,1%; 0,2%. 5) CaF_2:4%; 6%; 8%; 11%.

Для несущей части: 1) Cr - 10,0%, Mo - от 0,8%, Fe - остальное; 2) Cr - 14,3%, Mo - 2,6%, Fe - остальное; 3) Cr - 16,0%, Mo - 3,7%, Fe -остальное. Размеры частиц составляли величины: 10 мкм; 30 мкм; 63 мкм; 100 мкм; 160 мкм; 180 мкм.

Размеры элемента 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.

Уплотнение зазоров проточной части турбомашины было изготовлено спеканием в вакууме и защитной среде. Спекание одной части заготовок проводили при температуре 1200±100°С в вакуумной электропечи ОКБ 8086 при остаточном давлении в камере не хуже 10^{-2} мм рт.ст., а другой части - при той же температуре в среде газа: 1) CO. 2) CO_2 3) смеси газов CO и CO_2 в соотношениях объемных процентов: 10%:90%; 25%: 75%; 10%:90%; 50%:50%; 75%:25%; 90%:10%. Давление прессования при изготовлении заготовок прирабатываемого уплотнения для всех вариантов было равным: 40 кгс/мм^2; 50 кгс/мм^2; 60 кгс/мм^2; 70 кгс/мм^2. Механические свойства полученного материала составили: твердость, НВ от 133 до 147; $\sigma_в$=28,1…37,2 кгс/мм^2; $\sigma_т$,=17,1…25,0 кгс/мм^2; КС=1,17…1,56 кгм/см^2. Результаты испытаний образцов уплотнений из разработанного материала в условиях эксплуатации показали сочетание высоких прочностных характеристик уплотнений, с хорошей прирабатываемостью.

Таким образом, уплотнение зазоров проточной части турбомашины, включающее следующие признаки; выполненное из адгезионно соединенных между собой частиц порошкового материала; уплотнение выполнено составным, содержащим несущую и прирабатываемую части; несущая часть выполнена из порошкового материала состава, в вес.%: Cr - от 10,0 до 16,0%, Mo - от 0,8 до 3,7%, Fe - остальное, с размерами частиц порошка от 10 мкм до 180 мкм; прирабатываемая часть выполнена из механической смеси порошкового материала с размерами частиц порошка от 10 мкм до 150 мкм, состава, в вес.%: Cr - от 14,0 до 18,0%, Mo - от 0,7 до 1,4%, Si - от 0,2 до 1,4%, Mn - от 0,1 до 0,5%, Fe - остальное, 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, но не более 6%, позволяет достичь поставленного в заявляемой полезной модели технического результата - одновременного обеспечения высокой прирабатываемости, механической прочности и износостойкости уплотнения, а также снижения трудоемкости его изготовления.

Кроме того, использование в полезной модели следующих признаков: материал прирабатываемой части дополнительно содержит порошковый гексагональный нитрид бора в количестве от 0,5% до 10,0%, размерами частиц порошка гексагонального нитрида бора менее 1 мкм; материал прирабатываемой части дополнительно содержит в % вес: C - от 0,01 до 0,03%, Ni - от 0,1 до 0,3%, Nb - от 0,4 до 0,8%, S - от 0,01 до 0,03%; от 0,4% до 3% $BaSO_4$; от 0,04% до 0, 3% углерода; материал прирабатываемой части дополнительно содержит Ca в пределах от 0,01 до 0,2% или CaF_2 в количестве от 4 до 11%; уплотнение выполнено спеканием в вакууме или защитной среде при температуре от 950°С до 1250°С, а качестве защитной среды использован CO и/или CO_2, или спекание осуществлено в вакууме не хуже 10" мм рт.ст.; уплотнение получено газотермическим нанесением на элемент турбомашины, позволяют достичь дополнительных технических результатов в виде уменьшения коэффициента трения и повышения жаростойкости уплотнения.

Кроме того, использование в полезной модели следующих признаков: уплотнение выполнено в виде брусков, размерами и формой, обеспечивающих, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашины; размеры уплотнения составляют: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм 70 мм, высота от 5 мм до 50 мм и радиус кривизны по длине уплотнения, по его притираемой поверхности

от 200 мм до 2500 мм; отношение площади прирабатываемой части к несущей части уплотнения по его поперечному сечению могут составлять: от 1:20 до 10:1; несущая часть уплотнения составляет его основание, при этом возможны следующие варианты воплощения элемента уплотнения: по его поперечному сечению несущая часть охватывает, в виде U-образного элемента, прирабатываемую часть; в его поперечном сечении несущая часть уплотнения охватывает прирабатываемую часть уплотнения, причем несущая часть выполнена в виде трапеции или основание несущей части выполнено в виде трапеции, а его верхняя часть в виде прямоугольника, позволяют достичь дополнительных технических результатов в виде снижения трудоемкости изготовления, расширения функциональных возможностей уплотнения и возможности его использования на основных конструкциях турбомашин.

(57) Реферат

Полезная модель относится к машиностроению, в частности к уплотнениям зазоров проточной части турбомашин, длительно работающих в условиях повышенных температур и высокочастотных вибраций. Прирабатываемое уплотнение турбомашины, выполнено из адгезионно соединенных между собой в монолитный материал частиц порошкового наполнителя. отличающееся тем, При этом наполнителем является высоколегированная сталь состава: Cr - от 16,0 до 18,0%, Mo - от 0,7 до 1,6%, Fe - остальное, а размеры частиц порошка наполнителя составляют от 10 мкм до 150 мкм, причем содержание частиц размером от 10 мкм до 60 мкм составляет не менее 80% от общего объема частиц. Уплотнение выполнено спеканием в вакууме или защитной среде, обеспечивающим величину прочности сцепления частиц наполнителя от 20 до 100% от прочности частиц, при локальной прочности сцепления частиц в зоне контакта с контр-телом от 0,5 до 12% от прочности частиц наполнителя. Уплотнение дополнительно может содержать: Ca - от 0,01 до 0,2%, CaF_2 - от 4 до 11%, BN - от 4 до 11%, BN+$BaSO_4$- от 4 до 14%, Si - от 0,2 до 1,6%, Mn - от 0,2 до 0,6%, C - от 0,01 до 0,03%, Ni - от 0,1 до 0,3%, Nb - от 0,4 до 0,8%, S - от 0,01 до 0,03%. 1 н.з. и 10 з.п. ф-лы, 1 прим.

РЕФЕРАТ

Полезная модель относится к машиностроению, в частности к уплотнениям зазоров проточной части турбомашин, длительно работающих в условиях повышенных температур и высокочастотных вибраций. Прирабатываемое уплотнение турбомашины, выполнено из адгезионно соединенных между собой в монолитный материал частиц порошкового наполнителя. отличающееся тем, При этом наполнителем является высоколегированная сталь состава: Cr – от 16,0 до 18,0%, Mo – от 0,7 до 1,6% , Fe – остальное, а размеры частиц порошка наполнителя составляют от 10 мкм до 150 мкм, причем содержание частиц размером от 10 мкм до 60 мкм составляет не менее 80% от общего объема частиц. Уплотнение выполнено спеканием в вакууме или защитной среде, обеспечивающим величину прочности сцепления частиц наполнителя от 20 до 100% от прочности частиц, при локальной прочности сцепления частиц в зоне контакта с контр-телом от 0,5 до 12% от прочности частиц наполнителя. Уплотнение дополнительно может содержать: Ca - от 0,01 до 0,2 %, CaF_2 - от 4 до 11%, BN - от 4 до 11%, $BN+BaSO_4$ - от 4 до 14%, Si - от 0,2 до 1,6 %, Mn - от 0,2 до 0,6 %, C - от 0,01 до 0,03 %, Ni – от 0,1 до 0,3%, Nb – от 0,4 до 0,8 %, S – от 0,01 до 0,03%.
1 н.з. и 10 з.п. ф-лы, 1 прим.

Референт: Мингажев А.Д.

ДПМ 08.04.2011 2010153560/02

МПК B22F7/00

Уплотнение зазоров проточной части турбомашины

Полезная модель относится к машиностроению, в частности к уплотнениям зазоров проточной части турбомашин, длительно работающих в условиях повышенных температур и высокочастотных вибраций.

Эффективность работы газотурбинных двигателей и установок, а также паровых турбин зависит 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 лопаток канавок в истираемом уплотнительном материале. Уплотнения турбин выполняют например, используя плетеные металлические волокна, соты [патент США N 5080934, МПК. F 01 D 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 уплотнительных материалов, что приводит к быстрому износу уплотнения. В качестве прирабатываемых уплотнений в современных двигателях и установках используют также газотермические покрытия, имеющих, по сравнению с вышеописанными материалами, меньшую трудоемкость изготовления.

Известно прирабатываемое уплотнение турбомашины [патент США №4291089], получаемое методом газотермического напыления порошкового материала. При этом уплотнение формируется в виде покрытия, которое наносится непосредственно на кольцевой элемент корпуса турбомашины в зону уплотнения между корпусом и лопаткой.

Недостатком известного уплотнения является невозможность одновременного обеспечения высокой прирабатываемости и износостойкости покрытия.

Известно также прирабатываемое уплотнение турбомашины [патент США №4936745], выполненное в виде высокопористого керамического слоя с пористостью от 20 до 35 объемных %.

Недостатком известного уплотнения является низкая эрозионная стойкость и прочность.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому является уплотнение зазоров проточной части турбомашины, выполненный из адгезионно соединенных между собой частиц порошкового материала, [патент РФ №2039631, МПК B22F 3/10, Способ изготовления истираемого материала, 1995]. При этом уплотнение включает порошковый наполнитель, составляющий основу материала уплотнения и добавки. Порошковый материал заполнен в сотовые ячейки и спечен в вакууме или защитной среде. В качестве гранулированного прошкового материла использован материал состава Cr-Fe-Nb-C-Ni.

Известное прирабатываемое уплотнение турбомашины [патент РФ №2039631, МПК B22F 3/10, Способ изготовления истираемого материала, 1995] используется для уплотнения, которое выполнено в виде жестко соединенного со статором слоя сотовой структуры. При соприкосновении выступов на торце лопатке с сотовой структурой острые кромки гребешков притупляются, что приводит к снижению эффективности уплотнения. При этом слой сотовой структуры может быть закреплен на элементе турбомашины методом сварки или пайки [например, патент РФ №2277637, МПК F01D 11/08, 2006г.].

Процесс изготовления и прикрепления сотовой структуры достаточно сложен, трудоемок, а также связан с большими временными затратами. При этом, сотовая структура может быть соединена как с кольцевым элементом турбомашины, так и с отдельными, образующими кольцо элементами-вставками [например, патент РФ 2287063, МПК F01D 11/08, 2006 г.].

Недостатками прототипа являются невозможность одновременного обеспечения высокой прирабатываемости, механической прочности и износостойкости материала уплотнения, а также необходимость использования сотовых ячеек.

Задачей полезной модели является создание уплотнения, не содержащего слоя сотовой структуры, а выполненного из монолитного материала, допускающего врезание в него выступов лопатки и снижающего их износ в процессе эксплуатации.

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

Технический результат достигается тем, что уплотнение зазоров проточной части турбомашины, выполненное из адгезионно соединенных между собой частиц порошкового материала, в отличие от прототипа, элемент выполнен составным, содержащим несущую и прирабатываемую части, причем несущая часть выполнена из порошкового материала состава, в вес. %: Cr – от 10,0 до 16,0%, Mo – от 0,8 до 3,7% , Fe – остальное, с размерами частиц порошка от 10 мкм до 180 мкм, а прирабатываемая часть выполнена из механической смеси порошкового материала с размерами частиц порошка от 10 мкм до 150 мкм, состава, в вес. %: Cr – от 14,0 до

18,0%, Mo – от 0,7 до1,4% , Si – от 0,2 до 1,4%, Mn – от 0,1 до 0,5%, Fe – остальное, 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, но не более 6%.

Кроме того, полезная модель позволяет получить следующие дополнительные технические результаты.

Дополнительные технические результаты в виде уменьшения коэффициента трения и повышения жаростойкости достигаются за счет того, что материал прирабатываемой части может дополнительно содержать порошковый гексагональный нитрид бора в количестве от 0,5% до 10,0%, размерами частиц порошка гексагонального нитрида бора менее 1 мкм, при этом материал прирабатываемой части может дополнительно содержать в % вес: C - от 0,01 до 0,03 %, Ni – от 0,1 до 0,3%, Nb – от 0,4 до 0,8 %, S – от 0,01 до 0,03%; от 0,4% до 3% $BaSO_4$; от 0,04% до 0, 3% углерода, материал прирабатываемой части дополнительно содержит Ca в пределах от 0,01 до 0,2 % или CaF_2 в количестве от 4 до 11%, а уплотнение выполнено спеканием в вакууме или защитной среде при температуре от 950^0C до 1250^0C, а качестве защитной среды использован CO и/или CO_2, или спекание осуществлено в вакууме не хуже 10^{-2} мм рт.ст.; уплотнение получено газотермическим нанесением на элемент турбомашины.

Дополнительные технические результаты в виде снижения трудоемкости изготовления, расширения функциональных возможностей уплотнения и возможности его использования на основных конструкциях турбомашин достигаются за счет того, что уплотнение выполнено в виде брусков, размерами и формой, обеспечивающих, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашины, а размеры уплотнения составляют: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм

70 мм, высота от 5 мм до 50 мм и радиус кривизны по длине уплотнения, по его притираемой поверхности от 200 мм до 2500 мм, при этом отношение площади прирабатываемой части к несущей части уплотнения по его поперечному сечению могут составлять: от 1:20 до 10:1; несущая часть уплотнения составляет его основание, при этом возможны следующие варианты воплощения элемента уплотнения: по его поперечному сечению несущая часть охватывает, в виде U – образного элемента, прирабатываемую часть; в его поперечном сечении несущая часть уплотнения охватывает прирабатываемую часть уплотнения, причем несущая часть выполнена в виде трапеции или основание несущей части выполнено в виде трапеции, а его верхняя часть в виде прямоугольника.

Исследованиями авторов было установлено, что, с одной стороны, 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 материале для уплотнений, объясняется, в частности, тем, что адгезионная прочность частиц наполнителя, образующего материал весьма высока, тогда как в результате мгновенного ударного-теплового воздействия в условиях эксплуатации уплотнения на отдельную частицу наполнителя кинетическая энергия удара переходит в тепловую энергию. В результате этого, адгезионная прочность на границе рассматриваемой частицы резко снижается и в результате удара происходит его отрыв. В целом же процесс прирабатываемости уплотнения складывается из совокупности единичных процессов отрыва частиц наполнителя в результате снижения адгезионной прочности на границе каждой частицы. Кроме того, отрыв и унос частицы

приводит к отводу излишней теплоты из зоны приработки и не позволяет нагреваться основной массе материала. С другой стороны, функциональное разделение прирабатываемого элемента на прирабатываемую и несущую части существенно увеличивают прочностные его характеристики. Кроме того, использование порошкового материала для получения как прирабатываемой, так и несущей частей уплотнения позволяют, за счет применения только одного из видов спекания порошковых материалов в значительной степени (например, в отличие от использования сотовых структур) снизить трудоемкость изготовления уплотнений.

Пример. В качестве материалов для получения элемента прирабатываемого уплотнения использовался металлический порошок следующих составов.

Для прирабатываемой части: 1) [Cr – 12,0% , Mo –0,5 % , Si –0,1 %, Mn – 0,05 %, Fe – остальное] – неудовлетворительный результат (Н.Р.); 2) [Cr – 14,0 % , Mo – 0,7% , Si – 0,2 %, Mn – 0,1 %, Fe – остальное]; 3) Cr – 18,0% , Mo –1,4% , Si –1,4%, Mn – 0,5%,Fe – остальное; 4) [Cr –20,0% , Mo – 1,8% , Si –1,9%, Mn – 0,8%, Fe – остальное] – Н.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, но не более 6%. Исходный порошковый материал дополнительно содержал гексагональный нитрид бора (BN) размерами частиц порошка менее 1мкм в количестве: 0,5% ;1,0%; 5,0%; 7,0%; 10,0%. Кроме того, были использованы порошковые материалы вышеуказанных составов с дополнительными добавками следующих компонентов: 1) C - 0,01%; 0,03 %, Ni –0,1%; 0,3%, Nb – 0,4% ; 0,8 %, S – 0,01% ; 0,03%.2) $BaSO_4$: 0,4%; 1,2%; 3%. 3) углерод: 0,04% ; 0,3% . 4) Ca: 0,01 %; 0,05%; 0,1%; 0,2 %. 5) CaF_2 : 4 %; 6%; 8%; 11%.

Для несущей части: 1) Cr – 10,0% , Mo – от 0,8 % , Fe - остальное; 2) Cr – 14,3 % , Mo – 2,6% , Fe - остальное; 3) Cr –16,0% , Mo –3,7% , Fe – остальное. Размеры частиц составляли величины: 10 мкм; 30 мкм; 63 мкм; 100 мкм; 160 мкм; 180 мкм.

Размеры элемента 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.

Уплотнение зазоров проточной части турбомашины было изготовлено спеканием в вакууме и защитной среде. Спекание одной части заготовок проводили при температуре 1200±100°С в вакуумной электропечи ОКБ 8086 при остаточном давлении в камере не хуже 10^{-2} мм рт. ст., а другой части – при той же температуре в среде газа: 1) CO. 2) CO_2 3) смеси газов CO и CO_2 в соотношениях объемных процентов: 10% : 90%; 25% : 75%; 10% : 90%; 50% : 50%; 75% : 25%; 90% : 10%. Давление прессования при изготовлении заготовок прирабатываемого уплотнения для всех вариантов было равным: 40 кгс/мм^2; 50 кгс/мм^2; 60 кгс/мм^2; 70 кгс/мм^2. Механические свойства полученного материала составили: твердость HB от 133 до 147; $\sigma_в$ = 28,1 …37,2 кгс/мм^2 ; $\sigma_т$, = 17,1… 25,0 кгс/мм^2 ; КС = 1,17…1,56 кгм/см^2 . Результаты испытаний образцов уплотнений из разработанного материала в условиях эксплуатации показали сочетание высоких прочностных характеристик уплотнений, с хорошей прирабатываемостью.

Таким образом, уплотнение зазоров проточной части турбомашины, включающее следующие признаки: выполненное из адгезионно соединенных между собой частиц порошкового материала; уплотнение выполнено составным, содержащим несущую и прирабатываемую части; несущая часть выполнена из порошкового материала состава, в вес. %: Cr –

от 10,0 до 16,0%, Mo – от 0,8 до 3,7% , Fe – остальное, с размерами частиц порошка от 10 мкм до 180 мкм; прирабатываемая часть выполнена из механической смеси порошкового материала с размерами частиц порошка от 10 мкм до 150 мкм, состава, в вес. %: Cr – от 14,0 до 18,0%, Mo – от 0,7 до1,4% , Si – от 0,2 до 1,4%, Mn – от 0,1 до 0,5%, Fe – остальное, 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, но не более 6%, позволяет достичь поставленного в заявляемой полезной модели технического результата - одновременного обеспечения высокой прирабатываемости, механической прочности и износостойкости уплотнения, а также снижения трудоемкости его изготовления.

Кроме того, использование в полезной модели следующих признаков: материал прирабатываемой части дополнительно содержит порошковый гексагональный нитрид бора в количестве от 0,5% до 10,0%, размерами частиц порошка гексагонального нитрида бора менее 1 мкм; материал прирабатываемой части дополнительно содержит в % вес: C - от 0,01 до 0,03 %, Ni – от 0,1 до 0,3%, Nb – от 0,4 до 0,8 %, S – от 0,01 до 0,03%; от 0,4% до 3% $BaSO_4$; от 0,04% до 0, 3% углерода; материал прирабатываемой части дополнительно содержит Ca в пределах от 0,01 до 0,2 % или CaF_2 в количестве от 4 до 11%; уплотнение выполнено спеканием в вакууме или защитной среде при температуре от 950^0C до 1250^0C, а качестве защитной среды использован CO и/или CO_2, или спекание осуществлено в вакууме не хуже 10^{-2} мм рт.ст.; уплотнение получено газотермическим нанесением на элемент турбомашины, позволяют достичь дополнительных технических результатов в виде уменьшения коэффициента трения и повышения жаростойкости уплотнения.

Кроме того, использование в полезной модели следующих признаков: уплотнение выполнено в виде брусков, размерами и формой, обеспечивающих, при их соединении в кольцо, формирование полного торцевого уплотнения турбомашины; размеры уплотнения составляют: длина от 20 мм до 700 мм, ширина от 10 мм 70 мм, высота от 5 мм до 50 мм и радиус кривизны по длине уплотнения, по его притираемой поверхности от 200 мм до 2500 мм; отношение площади прирабатываемой части к несущей части уплотнения по его поперечному сечению могут составлять: от 1:20 до 10:1; несущая часть уплотнения составляет его основание, при этом возможны следующие варианты воплощения элемента уплотнения: по его поперечному сечению несущая часть охватывает, в виде U – образного элемента, прирабатываемую часть; в его поперечном сечении несущая часть уплотнения охватывает прирабатываемую часть уплотнения, причем несущая часть выполнена в виде трапеции или основание несущей части выполнено в виде трапеции, а его верхняя часть в виде прямоугольника, позволяют достичь дополнительных технических результатов в виде снижения трудоемкости изготовления, расширения функциональных возможностей уплотнения и возможности его использования на основных конструкциях турбомашин.