



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2010109939/22, 16.03.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.03.2010

(45) Опубликовано: 10.07.2010

Адрес для переписки:

450081, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул.
Шота Руставели, 49, ООО "НПП
Вакууммаш", Ю.К. Евграфовой

(72) Автор(ы):

Смыслов Анатолий Михайлович (RU),
Смыслов Алексей Анатольевич (RU),
Смыслова Марина Константиновна (RU),
Бердин Валерий Кузьмич (RU),
Мингажев Аскар Джамилевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с Ограниченной
Ответственностью "Научно-
производственное предприятие Вакууммаш"
(RU)

(54) ПРИРАБАТЫВАЕМОЕ УПЛОТНЕНИЕ ТУРБОМАШИНЫ

Формула полезной модели

1. Уплотнение турбомашины, выполненное из частиц порошкового наполнителя адгезионно соединенных между собой в монолитный материал, отличающееся тем, что в качестве наполнителя используется высоколегированная сталь состава: Cr от 10,0 до 16,0%, Mo от 0,8 до 3,7%, Fe остальное, а размеры частиц порошка наполнителя составляют от 15 до 180 мкм.

2. Уплотнение по п.1, отличающееся тем, что выполнено спеканием в вакууме или защитной среде.

3. Уплотнение по п.1, отличающееся тем, что получено газотермическим нанесением на элемент турбомашины.

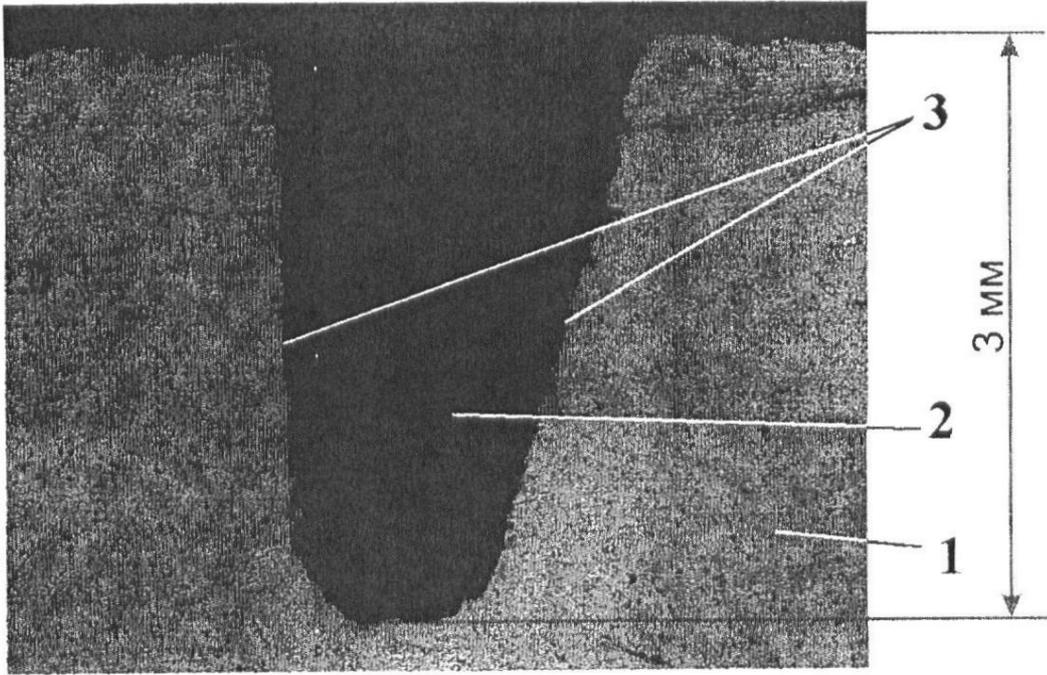
4. Уплотнение по любому из пп.1 и 2, отличающееся тем, что дополнительно содержит Са в пределах от 0,01 до 0,2%.

5. Уплотнение по любому из пп.1 и 2, отличающееся тем, что дополнительно содержит СаF₂ в количестве от 4 до 11%.

6. Уплотнение по любому из пп.1 и 2, отличающееся тем, что дополнительно содержит VN в количестве от 4 до 11%.

7. Уплотнение по любому из пп.1 и 2, отличающееся тем, что дополнительно содержит VN+BaSO₄ в количестве от 4 до 14%.

R U 9 5 5 7 5 U 1



R U 9 5 5 7 5 U 1

Полезная модель относится к машиностроению, в частности к уплотнениям 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 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, имеющих, по сравнению с
вышеописанными материалами, меньшую трудоемкость изготовления.

20 Известно прирабатываемое уплотнение турбомашин [патент США №4291089],
получаемое 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 износостойкости покрытия.

Известно также прирабатываемое уплотнение турбомашин [патент США
№4936745], выполненное в виде высокопористого керамического слоя с
30 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 техническому решению является прирабатываемое уплотнение
35 турбомашин, выполненное из частиц порошкового наполнителя адгезионно
соединенных между собой в монолитный материал [патент РФ №2039631, МПК В22F
3/10, Способ изготовления истираемого материала, 1995]. При этом уплотнение
включает заполненные в сотовые ячейки и спеченные в вакууме или защитной среде
40 гранулированный порошок состава Cr-Fe-Nb-C-Ni.

Известный материал прирабатываемого уплотнения турбомашин [патент РФ
№2039631, МПК В22F 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
45 с сотовой структурой острые кромки гребешков притупляются, что приводит к
снижению эффективности уплотнения. 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.].

50 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 турбомашин, так и с
отдельными, образующими кольцо 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 необходимости использования сотовых ячеек.

В этой связи, использование уплотнения, не содержащего слоя сотовой структуры, а выполненного из монолитного материала допускающими врезание в него выступов лопатки и снижающими их износ в процессе эксплуатации, привело бы к дальнейшему повышению эффективности работы турбомашин.

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

Технический результат достигается тем, что уплотнение турбомашин, выполненное из частиц порошкового наполнителя адгезионно соединенных между собой в монолитный материал, в отличие от прототипа в качестве наполнителя используется высоколегированная сталь состава: Cr - от 10,0 до 16,0%, Mo - от 0,8 до 3,7%, Fe - остальное, а размеры частиц наполнителя составляют от 15 мкм до 180 мкм.

Технический результат достигается также тем, что уплотнение: дополнительно содержит Ca в пределах от 0,01 до 0,2%; дополнительно содержит CaF_2 в количестве от 4 до 11%; дополнительно содержит BN в количестве от 4 до 11%; дополнительно содержит $\text{BN}+\text{BaSO}_4$ в количестве от 4 до 14%; материал выполнен спеканием в вакууме или защитной среде или методом газотермического напыления.

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 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. Таким образом реализуется совмещение адгезионной прочности соединения частиц наполнителя составляющую величину от 20 до 100% прочности частиц и локальной адгезионной прочности соединения частиц в зоне контакта с контр-телом от 0,5 до 3% от прочности частиц наполнителя. В связи с дискретным характером взаимодействия системы «уплотнение-лопатка», практически, после приработки происходит их безконтактное взаимодействие.

Однако, для реализации описанного механизма прирабатываемости уплотнения необходимо обеспечить ряд условий. К этим условиям относятся: соотношение адгезионной прочности соединения частиц наполнителя должна составлять величину

от 20 до 100% прочности частиц; локальная адгезионная прочность частиц в зоне контакта с контр-телом от 0,5 до 12% от прочности частиц наполнителя; размеры частиц наполнителя должны составлять величину от 15 мкм до 180 мкм.

5 Пример. В качестве основы для получения материала для прирабатываемого уплотнения использовался металлический порошок составов: 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 наполнителя составляли величины: 15 мкм; 30 мкм; 63 мкм; 100 мкм; 160 мкм; 180 мкм. Исходный порошковый материал
10 дополнительно содержал следующие компоненты: 1) Ca - 0,01%; 0,1%; 0,2%; 2) CaF₂ - 4%; 8%; 11%; 3) BN 4%; 6%; 11%; 4) (BN+BaSO₄) - 4%; 9%; 14%; материал был изготовлен спеканием в вакууме и защитной среде. Спекание одной части заготовок проводили при температуре 1200±100°C в вакуумной электропечи ОКБ 8086 при
15 остаточном давлении в камере менее 10⁻² мм рт. ст., а другой части - при той же температуре в среде осушенного диссоциированного аммиака, в засыпке из обожженного тонкомолотого глинозема. Давление прессования при изготовлении заготовок для всех вариантов было одинаковым и принято равным 70 кгс/мм².
20 Механические свойства полученного материала составили: твердость НВ от 137 до 146; $\sigma_B=27,6...36,6$ кгс/мм²; $\sigma_T=17,4...24,4$ кгс/мм²; КС=1,18...1,58 кгм/см².

Результаты испытаний образцов уплотнений из разработанного материала в условиях эксплуатации показали сочетание высоких прочностных характеристик уплотнений, с их хорошей прирабатываемостью.

25 На фотографии шлифа (фиг.) представлен внешний вид уплотнения после испытаний (Фигура содержит: 1 - материал прирабатываемого уплотнения; 2 - паз, образованный в результате процесса приработки системы «уплотнение-лопатка»; 3 - поверхность, образованная в результате приработки уплотнения.)

30 (57) Реферат

Полезная модель относится к машиностроению, в частности к уплотнениям зазоров проточной части турбомашин, длительно работающих в условиях
35 повышенных температур и высокочастотных вибраций. Прирабатываемое уплотнение турбомашин, выполнено из адгезионно соединенных между собой частиц порошкового наполнителя состава: Cr - от 10,0 до 16,0%, Mo - от 0,8 до 3,7%, Fe - остальное, с размерами частиц порошка от 15 мкм до 180 мкм. Материал уплотнения содержит также добавки: нитрид бора в количестве от 4% до 11%, Ca в пределах от 0,01 до 0,2% CaF₂, в количестве от 4 до 11%, BN+BaSO₄ в количестве от 4
40 до 14%. Уплотнение получают спеканием в вакууме или защитной или газотермическим напылением. Материал уплотнения может также содержать
45 содержит Ca в пределах от 0,01 до 0,2% или содержит CaF₂ в количестве от 4 до 11%.
1 н.з. и 6 з.п. ф-лы, 1 прим.

50

50

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 турбомашин, выполнено из адгезионно соединенных между собой частиц порошкового наполнителя состава: Cr – от 10,0 до 16,0%, Mo – от 0,8 до 3,7% , Fe – остальное, с размерами частиц порошка от 15 мкм до 180 мкм. Материал уплотнения содержит также добавки: нитрид бора в количестве от 4% до 11%, Ca в пределах от 0,01 до 0,2 % CaF₂ , в количестве от 4 до 11%, BN+BaSO₄ в количестве от 4 до 14%. Уплотнение получают спеканием в вакууме или защитной или газотермическим напылением. Материал уплотнения может также содержать содержит Ca в пределах от 0,01 до 0,2 % или содержит CaF₂ в количестве от 4 до 11%. 1 н.з. и 6 з.п. ф-лы, 1 прим.

Референт: Мингажев А.Д.



МПК В22F7/00

Прирабатываемое уплотнение турбомашин

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 турбомашин [патент США №4291089], получаемое 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.

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

Известно также прирабатываемое уплотнение турбомшины [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 техническому решению является прирабатываемое уплотнение турбомшины, выполненное из частиц порошкового наполнителя адгезионно соединенных между собой в монолитный материал [патент РФ №2039631, МПК В22F 3/10, Способ изготовления истираемого материала, 1995]. При этом уплотнение включает заполненные в сотовые ячейки и спеченные в вакууме или защитной среде гранулированный порошок состава Cr-Fe-NB-C-Ni.

Известный материал прирабатываемого уплотнения турбомшины [патент РФ №2039631, МПК В22F 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 турбомшины 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 турбомашин, так и с отдельными, образующими кольцо 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 необходимости использования сотовых ячеек.

В этой связи, использование уплотнения, не содержащего слоя сотовой структуры, а выполненного из монолитного материала допускающими врезание в него выступов лопатки и снижающими их износ в процессе эксплуатации, привело бы к дальнейшему повышению эффективности работы турбомашин.

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

Технический результат достигается тем, что уплотнение турбомашин, выполненное из частиц порошкового наполнителя адгезионно соединенных между собой в монолитный материал, в отличие от прототипа в качестве наполнителя используется высоколегированная сталь состава: Cr – от 10,0 до 16,0% , Mo – от 0,8 до 3,7% , Fe – остальное, а размеры частиц наполнителя составляют от 15 мкм до 180 мкм.

Технический результат достигается также тем, что уплотнение: дополнительно содержит Са в пределах от 0,01 до 0,2 %; дополнительно

содержит CaF_2 в количестве от 4 до 11%; дополнительно содержит BN в количестве от 4 до 11%; дополнительно содержит $\text{BN}+\text{BaSO}_4$ в количестве от 4 до 14%; материал выполнен спеканием в вакууме или защитной среде или методом газотермического напыления.

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 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. Таким образом реализуется совмещение адгезионной прочности соединения частиц наполнителя составляющую величину от 20 до 100% прочности частиц и локальной адгезионной прочности соединения частиц в зоне контакта с контр-телом от 0,5 до 3% от прочности частиц наполнителя. В связи с дискретным характером взаимодействия системы

«уплотнение-лопатка», практически, после приработки происходит их безконтактное взаимодействие.

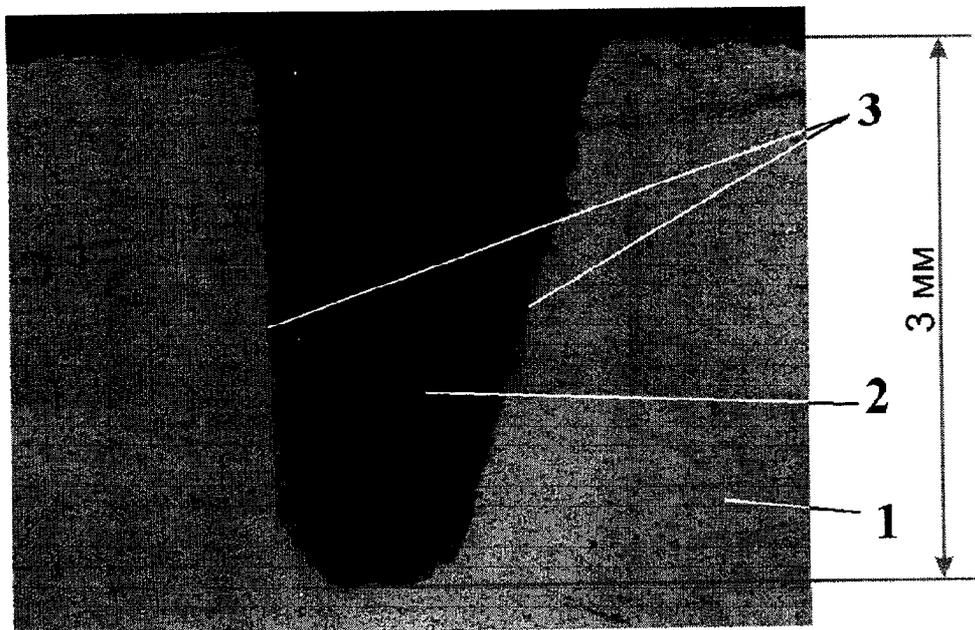
Однако, для реализации описанного механизма прирабатываемости уплотнения необходимо обеспечить ряд условий. К этим условиям относятся: соотношение адгезионной прочности соединения частиц наполнителя должна составлять величину от 20 до 100% прочности частиц; локальная адгезионная прочность частиц в зоне контакта с контр-телом от 0,5 до 12% от прочности частиц наполнителя; размеры частиц наполнителя должны составлять величину от 15 мкм до 180 мкм.

Пример. В качестве основы для получения материала для прирабатываемого уплотнения использовался металлический порошок составов: 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 наполнителя составляли величины: 15 мкм; 30 мкм; 63 мкм; 100 мкм; 160 мкм; 180 мкм. Исходный порошковый материал дополнительно содержал следующие компоненты: 1) Ca - 0,01%; 0,1%; 0,2 %; 2) CaF₂ - 4%; 8%; 11%; 3) BN 4%; 6%; 11%; 4) (BN+BaSO₄) - 4%; 9%; 14%; материал был изготовлен спеканием в вакууме и защитной среде. Спекание одной части заготовок проводили при температуре 1200±100°C в вакуумной электропечи ОКБ 8086 при остаточном давлении в камере менее 10⁻² мм рт. ст., а другой части – при той же температуре в среде осушенного диссоциированного аммиака, в засыпке из обожженного тонкомолотого глинозема. Давление прессования при изготовлении заготовок для всех вариантов было одинаковым и принято равным 70 кгс/мм². Механические свойства полученного материала составили: твердость НВ от 137 до 146; $\sigma_b = 27,6 \dots 36,6$ кгс/мм²; $\sigma_{T_0} = 17,4 \dots 24,4$ кгс/мм²; КС = 1,18...1,58 кгм/см².

Результаты испытаний образцов уплотнений из разработанного материала в условиях эксплуатации показали сочетание высоких прочностных характеристик уплотнений, с их хорошей прирабатываемостью.

На фотографии шлифа (фиг.) представлен внешний вид уплотнения после испытаний (Фигура содержит: 1 – материал прирабатываемого уплотнения; 2 – паз, образованный в результате процесса приработки системы «уплотнение-лопатка»; 3 – поверхность, образованная в результате приработки уплотнения.)

Прирабатываемое уплотнение
турбомашины



Фиг.